

#### 4. ΔΙΩΡΥΓΑ ΦΥΓΗΣ

Η παροχή υπερχειλίσης εισέρχεται στη διώρυγα φυγής σαν υπερκρίσιμη ροή. Η διώρυγα σχεδιάζεται έτσι ώστε οι υπερκρίσιμες συνθήκες ροής να διατηρούνται για όλο της το μήκος, χωρίς τη δημιουργία υδραυλικού άλματος. Για τον υδραυλικό σχεδιασμό της διώρυγας φυγής ακολουθούνται οι οδηγίες του U.S.Bureau of Reclamation [6].

##### 4.1 Αρχές σχεδιασμού διώρυγας φυγής

###### *α. Προσδιορισμός ελεύθερης επιφάνειας ροής*

Η μορφή της ελεύθερης επιφάνειας της ροής στη διώρυγα φυγής υπολογίζεται με τη μέθοδο της ολοκλήρωσης του σταθερού βήματος (standard step).

$$\Delta Z + d_1 \cdot \sigma \nu \theta + h_{v1} = d_2 \cdot \sigma \nu \theta + h_{v2} + \Delta h \quad (4-1)$$

Όπου,

$\Delta Z$ : η υψομετρική διαφορά στον πυθμένα μεταξύ των θέσεων 1 και 2.

$d_1, d_2$ : τα βάθη καθέτως προς τη διεύθυνση της ροής στις θέσεις 1 και 2 αντίστοιχα.

$h_{v1}, h_{v2}$ : τα φορτία ταχύτητας στις θέσεις 1 και 2.

$\Delta h$ : η απώλεια υδραυλικού φορτίου στις θέσεις 1 και 2.

Ο όρος  $\Delta h$  περιλαμβάνει απώλειες οφειλόμενες σε τριβές, τύρβη, προσκρούσεις, κ.λ.π. Για την περίπτωση της διώρυγας φυγής ο όρος μπορεί να ταυτιστεί με τις απώλειες λόγω τριβών αγνοώντας τις υπόλοιπες απώλειες. Έτσι :

$$\Delta h = s \cdot \Delta x \quad (4-2)$$

Όπου,

$\Delta x$ : το μήκος του τμήματος της διώρυγας φυγής μεταξύ των θέσεων 1 και 2

$s$ : η μέση κλίση της γραμμής ενέργειας για το τμήμα αυτό. Η προηγούμενη σχέση προσεγγιστικά γράφεται ως εξής :

$$\Delta h = \frac{s_1 + s_2}{2} \cdot \Delta x \quad (4-3)$$

Όπου,

$s_1$  ,  $s_2$ : οι κλίσεις της γραμμής ενέργειας στις θέσεις 1 και 2. Η κλίση της γραμμής ενέργειας προσδιορίζεται κατά Manning σύμφωνα με τη σχέση :

$$s = \frac{n^2 V^2}{R^{\frac{4}{3}}} \quad (4-4)$$

Όπου,

$n$ : είναι ο συντελεστής του Manning

$V$ : είναι η ταχύτητα ροής

$R$ : είναι η υδραυλική ακτίνα η οποία για ορθογωνική διατομή είναι:

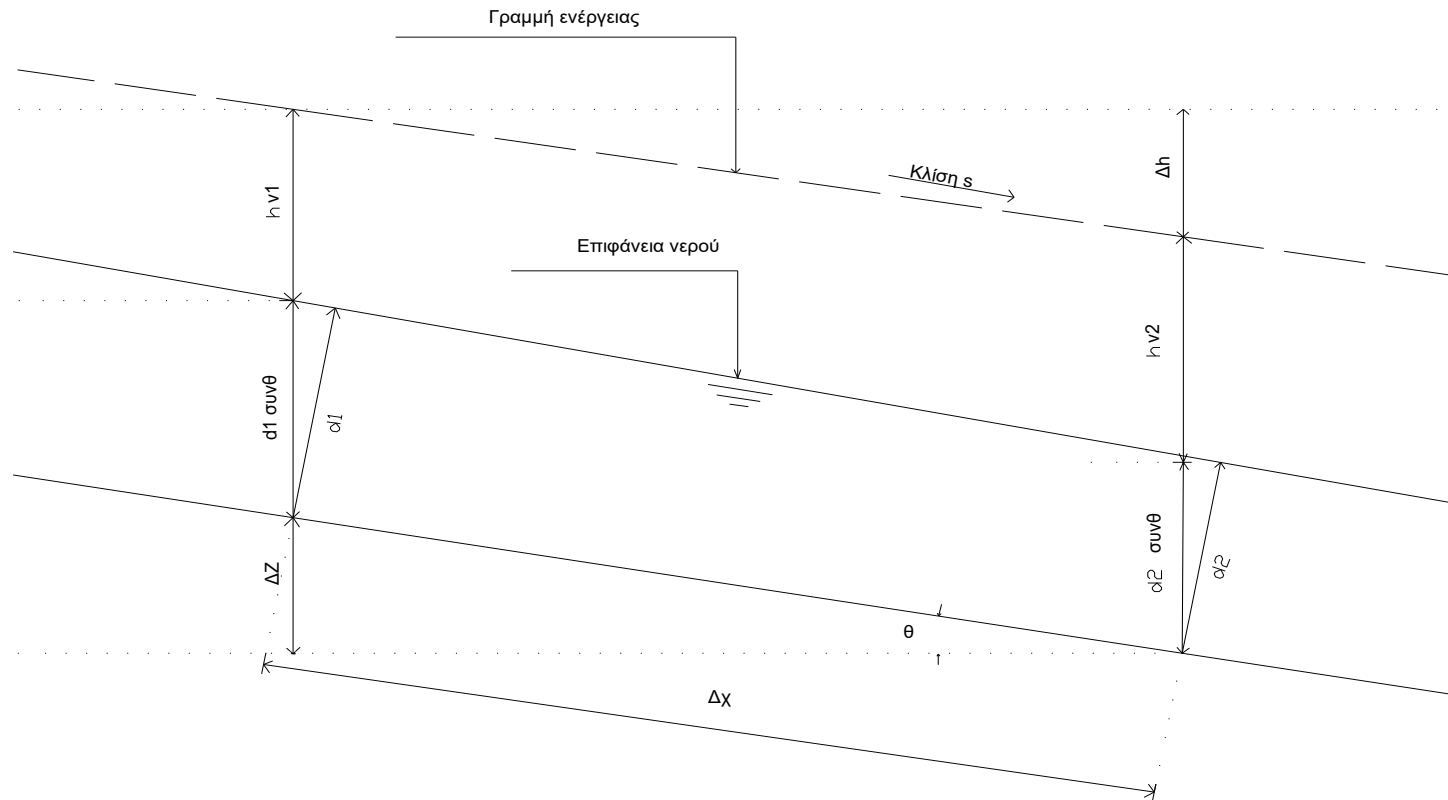
$$R = b \cdot d / (2d + b) \quad (4-5)$$

Όπου,

$b$ : είναι το πλάτος της διώρυγας

$d$ : είναι το βάθος καθέτως προς τη διεύθυνση ροής

Η τιμή του συντελεστή  $n$  εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της διώρυγας. Σύμφωνα με τις οδηγίες του USBR, οι απώλειες λόγω τριβών πρέπει να λαμβάνονται υψηλές όταν υπολογίζονται τα βάθη ροής για το σχεδιασμό των πλευρικών τοίχων, και χαμηλές όταν υπολογίζεται η ενέργεια της ροής για το σχεδιασμό των έργων καταστροφής ενέργειας. Λαμβάνονται αντίστοιχα οι τιμές  $n=0,016$  και  $n=0,014$ .



**Σχήμα 4.1:** Ροή στη διώρυγα φυγής

**β. Χαρακτηριστικά μεταβολών διατομής**

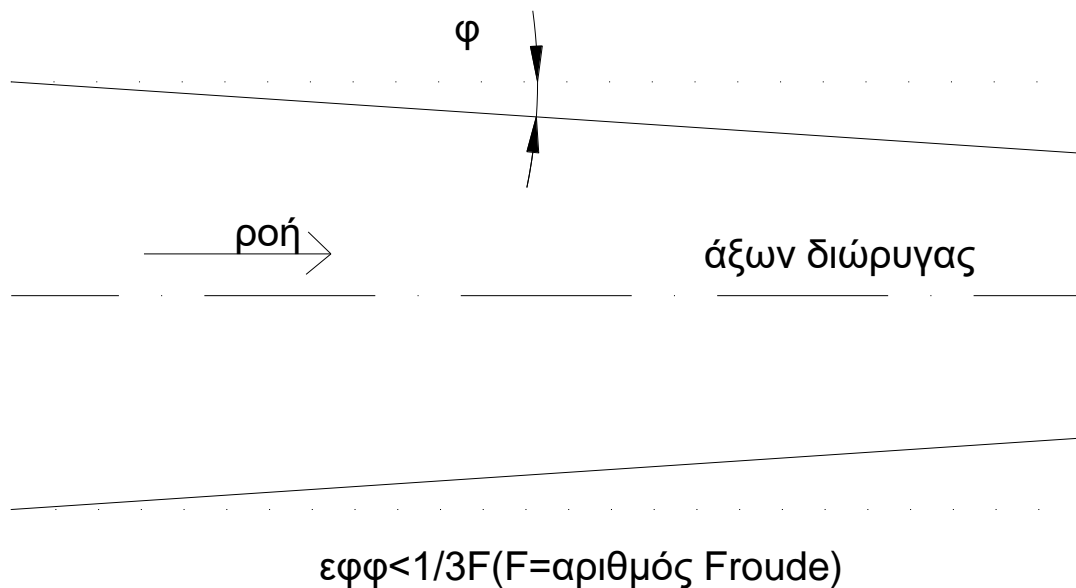
Είναι επιθυμητό από την άποψη της υδραυλικής συμπεριφοράς της διώρυγας, οι πλευρικοί τοίχοι να είναι παράλληλοι και η διώρυγα να έχει σταθερή ορθογωνική διατομή. Λόγοι οικονομίας του έργου επιβάλλουν πλάτος διώρυγας μικρότερο από το μήκος στέψης του υπερχειλιστή ή το πλάτος της λεκάνης ηρεμίας. Η σύγκλιση των πλευρικών τοίχων κατά τη δημιουργία τμημάτων συναρμογής πρέπει να είναι ελεγχόμενη έτσι ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός κυματισμών (cross waves), ανύψωση της στάθμης του νερού καθώς και η ανομοιόμορφη κατανομή της ροής στη διατομή της διώρυγας.

Για το σχεδιασμό των τμημάτων συναρμογής υποδεικνύεται από το USBR η εφαρμογή της σχέσης :

$$\varepsilon\phi\phi = \frac{1}{3F} \quad (4-6)$$

Όπου,  $\phi$ : η μέγιστη επιτρεπόμενη γωνία την οποία σχηματίζει ο πλευρικός τοίχος της διώρυγας με τον άξονα της διώρυγας σύμφωνα με το σχήμα 4.2

F: είναι ο αριθμός Froude ο οποίος χαρακτηρίζει τη ροή στην διώρυγα



**Σχήμα 4.2:** Γωνία συναρμογής διώρυγας φυγής

### γ. Προσδιορισμός στάθμης στέψης πλευρικών τοίχων

Εκτός από το βάθος ροής, παράγοντες που σχετίζονται με τον προσδιορισμό της στάθμης στέψης των πλευρικών τοίχων της διώρυγας φυγής είναι η δημιουργία κυματισμών (cross waves) οι οποίοι χαρακτηρίζουν την υπερκρίσιμη ροή, καθώς και η εισρόφηση αέρα (air bulking). Το απαιτούμενο περιθώριο ασφαλείας (freeboard) το οποίο προστίθεται στη στάθμη του νερού για να προσδιορισθεί η στάθμη στέψης των πλευρικών τοίχων ορίζεται σύμφωνα με το USBR από την εμπειρική σχέση:

$$Freeboard(m) = 0,610 + 0,037158 \cdot V \cdot \sqrt[3]{d} \quad (4-7)$$

### δ. Διαμόρφωση μεταβολών κλίσης

Σε περίπτωση αύξησης της κλίσης της διώρυγας φυγής, ο πυθμένας πρέπει να διαμορφώνεται λαμβάνοντας υπόψη τη διαδρομή ελεύθερης φλέβας νερού, ώστε να αποφεύγεται ο αποχωρισμός της ροής. Το καμπύλο τμήμα του πυθμένα διαμορφώνεται σύμφωνα με τη σχέση :

$$-y = x \cdot \varepsilon \phi \theta + \frac{x^2}{K(4(d + h_v) \cdot \sigma \nu \nu^2 \theta)} \quad (4-8)$$

Όπου,

θ: είναι η γωνία της ανάντη κλίσης πυθμένα

K: είναι σταθερά με τιμή τουλάχιστον 1,5

Σε περίπτωση μείωσης της κλίσης της διώρυγας, ο πυθμένας διαμορφώνεται σε τόξο κύκλου σύμφωνα με τη σχέση :

$$R = \frac{2 \cdot d \cdot v^2}{p} \quad (4-9)$$

Όπου, R: η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας (ft)

p: η αποδεκτή πίεση η οποία η οποία ασκείται στον πυθμένα (lb/ft<sup>2</sup>). Μία συνήθως αποδεκτή τιμή είναι p=1000. Ισχύει επίσης R≥10d.

## 4.2 Σχεδιασμός διώρυγας φυγής

Η διώρυγα φυγής σχεδιάζεται ώστε να μπορεί να παροχετεύσει με ασφάλεια και σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην προηγούμενη παράγραφο την Μέγιστη Πιθανή Πλημμύρα, δηλαδή για μέγιστη παροχή  $Q=45,59\text{m}^3/\text{s}$

Η αρχή της κλίσης της διώρυγας βρίσκεται στη θέση Χ.Θ. 0+0,00 και σε στάθμη +379,78. Το πέρας της διώρυγας είναι στη θέση Χ.Θ. 0+287,20 και σε στάθμη +330,00. Η κάτοψη και η κατά μήκος τομή της διώρυγας παρουσιάζονται στο Σχέδιο 4.2. Η διώρυγα έχει ορθογωνική διατομή, με πλάτος  $b$  στην αρχή της (Χ.Θ. 0+0,00) ίσο με 15m, ίσο δηλαδή με το μήκος στέψης του υπερχειλιστή. Κρίνεται ότι το πλάτος αυτό, εφόσον διατηρηθεί για ολόκληρο το μήκος της διώρυγας, οδηγεί σε υπερσχεδιασμό. Για το λόγο αυτό το τμήμα της διώρυγας μεταξύ των Χ.Θ. 0+17,00 και Χ.Θ. 0+117,00 διαμορφώνεται σαν τμήμα συναρμογής με τελικό πλάτος  $b=8\text{m}$ .

Ισχύει :

$$\varepsilon\phi\phi = 0,5 \cdot (15 - 8) / (151,00 - 51,00) = 0,035$$

Άρα η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή αριθμού Froude στη συναρμογή σύμφωνα με την προηγούμενη σχέση είναι :

$$F = \frac{1}{3 \cdot \varepsilon\phi\phi} = \frac{1}{3 \cdot 0,035} = 9,52$$

Η ελεύθερη επιφάνεια της ροής στη διώρυγα προσδιορίζεται με τη μέθοδο ολοκλήρωσης του σταθερού βήματος σύμφωνα με τις παραπάνω σχέσεις. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 4.1 και 4.2 για τη Μέγιστη Πιθανή Πλημμύρα και τις εξεταζόμενες τιμές της σταθεράς  $n$  του Manning 0,016 και 0,014 αντίστοιχα. Στην αρχή της διώρυγας (Χ.Θ. 0+0,00) λαμβάνεται  $d_1=1,510\text{m}$  και  $V_1=2,02\text{m/s}$  σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παραγράφου 3.3. Για τον προσδιορισμό του ελάχιστου απαιτούμενου ύψους των πλευρικών τοίχων σύμφωνα με τη σχέση (4-7) λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα του πίνακα 4.1 για τιμή  $n=0,016$ , τα οποία είναι τα πλέον συντηρητικά. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά το ύψος των πλευρικών τοίχων της διώρυγας φυγής κατάντη της Χ.Θ. 0+77,00 προσδιορίζεται περίπου σε 2,50m.

Οι τιμές των αριθμών Froude που περιλαμβάνονται στα αποτελέσματα των πινάκων 4.1 και 4.2 επιβεβαιώνουν ότι η μόρφωση του τμήματος συναρμογής μεταξύ των θέσεων Χ.Θ. 0+17,00 και Χ.Θ. 0+117,00 είναι σύμφωνη με τη σχέση  $\varepsilon\phi\phi = \frac{1}{3F}$ .

Παρατηρείται ότι η μόρφωση της συναρμογής με ευθύγραμμα τμήματα (funnel-shaped contraction) παρατηρείται συνήθως σε περιπτώσεις όπου ο λόγος του πλάτους της διώρυγας στο πέρας τη συναρμογής προς το πλάτος στην αρχή της συναρμογής είναι μεγαλύτερος από 0,5. Εάν ο λόγος του πλάτους της διώρυγας στο πέρας τη συναρμογής προς το πλάτος στην αρχή της συναρμογής είναι μικρότερος από 0,5 θα έπρεπε να εξετασθεί η περίπτωση μόρφωσης του τμήματος συναρμογής με τόξα κύκλου (fan-shaped contraction), η οποία εκτιμάται ότι περιορίζει το χώρο που καταλαμβάνει το όλο έργο[7]. Στον προτεινόμενο σχεδιασμό ο λόγος του πλάτους της διώρυγας στο πέρας της συναρμογής προς το πλάτος στην αρχή της συναρμογής είναι μεγαλύτερος του 0,5 για αυτό η μόρφωση της συναρμογής θα γίνει με ευθύγραμμα τμήματα.

Η υδραυλική λειτουργία της διώρυγας φυγής εξετάζεται επίσης για την πλημμύρα σχεδιασμού των έργων καταστροφής ενέργειας, δηλαδή για την παροχή  $Q=25,02\text{m}^3/\text{s}$  και για την παροχή  $Q=34,38\text{ m}^3/\text{s}$  κατά την λειτουργία των έργων υπερχειλίσης και του αγωγού εκκένωσης-υδροληψίας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 4.3, 4.5 και 4.4, 4.6 για τιμές Manning  $n=0,016$  και  $n=0,014$ . αντίστοιχα. Στην αρχή της διώρυγας Χ.Θ. 0+0,00 λαμβάνεται  $d_1=0,830$  και  $V_1=2,00\text{ m/s}$  σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παραγράφου 3.4. Επιβεβαιώνεται ότι και για τα αποτελέσματα αυτά η διαμόρφωση του τμήματος συναρμογής μεταξύ των θέσεων Χ.Θ. 0+17,00 και Χ.Θ. 0+117,00 είναι σύμφωνη με τη σχέση  $\varepsilon\phi\phi = \frac{1}{3F}$ . Τα

αποτελέσματα του πίνακα 4.6 θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για το σχεδιασμό των έργων καταστροφής ενέργειας.

Αλλαγές στην κλίση του πυθμένα της διώρυγας φυγής προβλέπονται στη Χ.Θ. 0+17,00, στη Χ.Θ. 0+167,00 και στη Χ.Θ. 0+242,00. Η διαμόρφωση του πυθμένα στις θέσεις των αλλαγών κλίσης γίνεται σύμφωνα με τις

σχέσεις  $-y = x \cdot \varepsilon\phi\theta + \frac{x^2}{K(4(d + h_v) \cdot \sigma \nu^2 \theta)}$  και  $R = \frac{2 \cdot d \cdot v^2}{p}$  και με βάση τα αποτελέσματα του πίνακα 4.2.

Στη Χ.Θ. 0+17,00 η κλίση του πυθμένα μεταβάλλεται από 0,0165 σε 0,1233. Εφαρμόζεται η σχέση

$$-y = x \cdot \varepsilon \phi \theta + \frac{x^2}{K(4(d + h_v) \cdot \sigma \nu^2 \theta)} \text{ και η διαμόρφωση της μεταβολής της κλίσης}$$

παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5 και στο σχήμα 4.4.

Στη Χ.Θ. 0+167,00 η κλίση του πυθμένα μεταβάλλεται από 0,1233 σε 0,2867. Εφαρμόζεται η σχέση

$$-y = x \cdot \varepsilon \phi \theta + \frac{x^2}{K(4(d + h_v) \cdot \sigma \nu^2 \theta)} \text{ και η διαμόρφωση της μεταβολής της κλίσης}$$

παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6 και στο σχήμα 4.5.

Στη Χ.Θ. 0+242,00 η κλίση του πυθμένα μεταβάλλεται από 0,2867 σε 0,2102.

$$R = \frac{2 \cdot d \cdot v^2}{p}$$

Εφαρμόζεται η σχέση

και η διαμόρφωση της μεταβολής της κλίσης παρουσιάζονται στον πίνακα 4.7 και στο σχήμα 4.6.

### 4.3 Σπηλαίωση στη διώρυγα φυγής

Το ενδεχόμενο της φθοράς των σκυροδεμάτων της διώρυγας φυγής λόγω του προβλήματος της σπηλαίωσης εξαρτάται από τις ταχύτητες ροής στη διώρυγα σε συνδυασμό με την ποιότητα της τελειωμένης επιφάνειας του σκυροδέματος στον πυθμένα της διώρυγας.

Για τον έλεγχο της διώρυγας φυγής σε σπηλαίωση χρησιμοποιείται ο δείκτης σπηλαίωσης  $\sigma$  ο οποίος δίνεται από τη σχέση :

$$\sigma = \frac{p - p_v}{(V^2 / 2 \cdot g)} \quad (4-10)$$

Όπου,



$p$ : είναι η απόλυτη πίεση νερού περιλαμβανομένης της ατμοσφαιρικής πίεσης (σε m H<sub>2</sub>O),

$p_v$ : είναι η απόλυτη πίεση κορεσμένων υδρατμών

$V^2/2g$ : είναι το φορτίο ταχύτητας

Ισχύει  $p = \rho \cdot d \cdot \sin \theta + 10m$  και  $p_v = 0,5m$ . Λαμβάνεται η τιμή  $p_v = 0,5m$  η οποία αντιστοιχεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 30°C και θεωρείται συντηρητική διότι οι εξεταζόμενες πλημμύρες αναμένεται ότι θα συμβούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Οι τιμές του δείκτη σπηλαίωσης  $\sigma$  σύμφωνα με τα παραπάνω περιλαμβάνονται στα αποτελέσματα των πινάκων 4.1 έως 4.4. Για την παροχή  $Q = 25,02 \text{ m}^3/\text{s}$  η τιμή του δείκτη σπηλαίωσης για τη δυσμενή τιμή Manning  $n = 0,014$  κυμαίνεται από 1,02 έως 48,90. Για την παροχή της Μέγιστης Πιθανής Πλημμύρας  $Q = 45,59 \text{ m}^3/\text{s}$  οι αντίστοιχες τιμές του δείκτη σπηλαίωσης κυμαίνονται από 0,79 έως 48,70.

Εάν οι τελικές επιφάνειες του σκυροδέματος διαμορφωθούν έτσι ώστε σε τυχόν ανωμαλίες να αντιστοιχεί λόγος μήκους προς ύψος εξοχής όχι μικρότερος από 20:1, τότε δε δημιουργείται σπηλαίωση για τιμές δείκτη  $\sigma > 0,25$  [8]. Με βάση τις τιμές του δείκτη που αναφέρθηκαν δεν απαιτείται αερισμός ή άλλα μέτρα προστασίας στη διώρυγα φυγής εφόσον επιτευχθεί ή απαιτούμενη ποιότητα τελειώματος των επιφανειών σκυροδέματος. Σε περίπτωση που απαιτηθεί περαιτέρω προστασία του σκυροδέματος προτείνεται η τελική διαμόρφωση των διατομών στο τέλος της διώρυγας φυγής, στη λεκάνη ηρεμίας και στη διώρυγα απαγωγής να γίνει με ινοπλισμένο σκυρόδεμα C30/37 πάχους 8 cm και επάλειψη των τοιχίων σε ύψος έως 1 m από τον πυθμένα της διατομής.

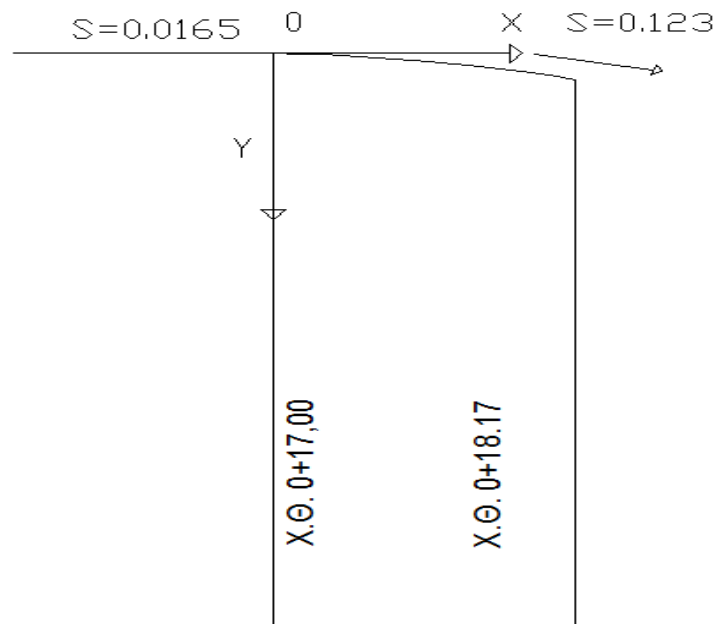
#### 4.4 Αστάθειες υπερκρίσιμης ροής

Η υπερκρίσιμη ροή στη διώρυγα φυγής χαρακτηρίζεται από αριθμούς Froude σημαντικά μεγαλύτερους της μονάδας, γεγονός που ενδεχομένως να οδηγεί σε αστάθειες ροής. Σύμφωνα με παρατηρήσεις που έχουν γίνει σε υπάρχοντα έργα, οι αστάθειες χαρακτηρίζονται από τη δημιουργία κυμάτων μεταφοράς τα οποία έχουν ύψος περίπου 5% του μέσου βάθους ροής [9]. Στην παρούσα μελέτη γίνεται δεκτό ότι το ύψος αυτό περιλαμβάνεται από το ελεύθερο περιθώριο που έχει προβλεφθεί κατά τον προσδιορισμό της στάθμης στέψης των πλευρικών τοίχων και ότι δεν επηρεάζει τη λειτουργία ή την ασφάλεια των έργων καταστροφής ενέργειας.

**Πίνακας 4.5:** Διαμόρφωση μεταβολής κλίσης πυθμένα διώρυγας φυγής, Χ.Θ.0+17,00 (χ=0 αντιστοιχεί στη Χ.Θ. 0+17,00)

εφ.θ	0,0165
K	1,5
d(m)	0,622
h <sub>v</sub> (m)	1,215
θ	0,945295
συν.θ	0,999864

x	y	Κλίση
0	0	
0,1	0,003	0,0256
0,2	0,007	0,0347
0,4	0,021	0,0528
0,6	0,043	0,0710
0,8	0,071	0,089
1	0,107	0,107
1,1	0,128	0,116
1,17	0,144	0,123

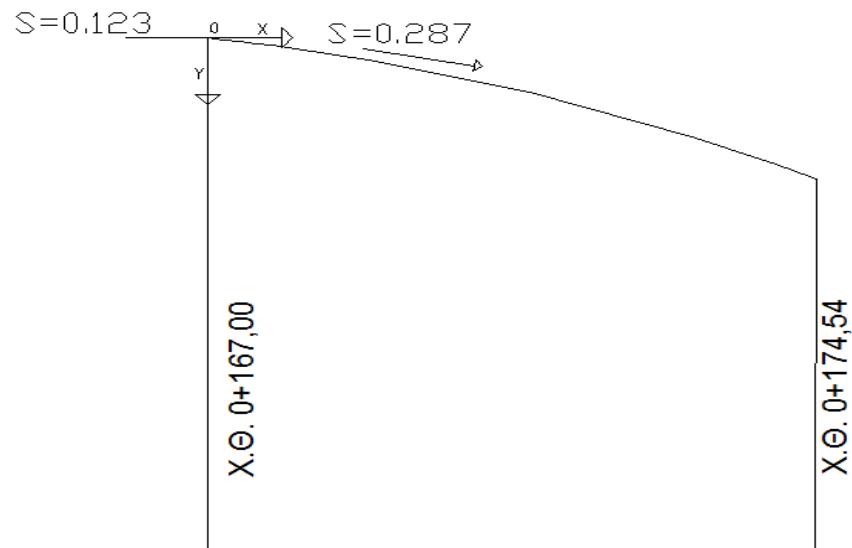


**Σχήμα 4.4:** Διαμόρφωση μεταβολής κλίσης πυθμένα διώρυγα φυγής, Χ.Θ. 17,00

**Πίνακας 4.6:** Διαμόρφωση μεταβολής κλίσης πυθμένα διώρυγας φυγής, Χ.Θ.0+167,00 (χ=0 αντιστοιχεί στη Χ.Θ. 0+167,00)

εφ.θ	0,123
K	1,5
d(m)	0,477
h <sub>v</sub> (m)	7,284
θ	7,01216
συν.θ	0,99252

x	y	Κλίση
0	0	
0,2	0,025	0,127
0,4	0,053	0,132
0,6	0,082	0,136
0,8	0,112	0,140
1	0,145	0,145
2	0,333	0,167
4	0,841	0,210
6	1,523	0,254
7	1,929	0,276
7,54	2,167	0,287

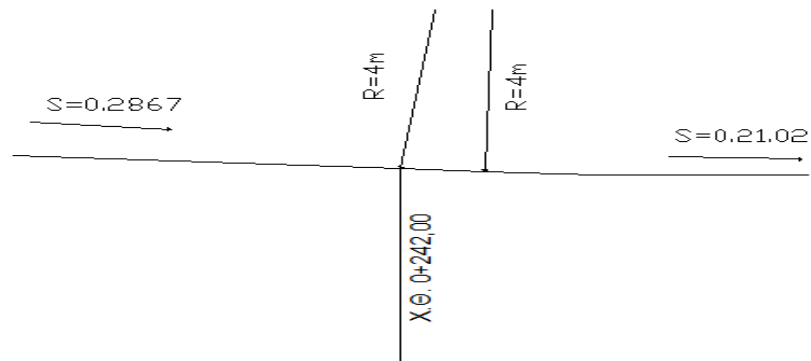


**Σχήμα 4.5:** Διαμόρφωση μεταβολής κλίσης πυθμένα διώρυγα φυγής, Χ.Θ. 167,00

**Πίνακας 4.7:** Διαμόρφωση μεταβολής κλίσης πυθμένα διώρυγας φυγής,  
Χ.Θ.0+242,00 ( $\chi=0$  αντιστοιχεί στη Χ.Θ. 0+242,00)

d (m)	0,363
V (m/s)	15,700
d (ft)	1,191
V (ft/s)	51,509
R (ft)	6,320
R (m)	1,926
10d (m)	3,630

Επιλέγεται R=4m



**Σχήμα 4.6:** Διαμόρφωση μεταβολής κλίσης πυθμένα διώρυγα φυγής, Χ.Θ. 184,1

**Πίνακας 4.1:** Υπολογισμός ανομοιόμορφης ροής στην διώρυγα φυγής

Παροχή 45,59 m<sup>3</sup>/s

Σταθερά Manning n 0,016

Σταθερά Coriolis α 1

Χ.Θ.	Πλάτος πυθμένα b (m)	Στάθμη πυθμένα z (m)	Απόσταση από την αρχή χ (m)	Δχ (m)	Δz (m)	cosθ	Βάθος νερού d (m)	Εμβαδόν υγρής διατομής (m <sup>2</sup> )	Ταχύτητα Ροής (m/s)	Φορτίο ταχύτητας h <sub>v</sub> (m)	Συνολικό υδραυλικό φορτίο h (m)	Υδραυλική ακτίνα r(m)	Κλίση πιεζομετρικής γραμμής s <sub>1</sub>	Αριθμός Froude	Μέση κλίση πιεζομετρικής γραμμής	Προσέγγιση υδραυλικού φορτίου h στην επόμενη θέση (m)	Νέα προσέγγιση βάθους d στην επόμενη θέση (m)	Απαιτούμενο ύψος πλευρικών τοιχών(m)	Δείκτης σπηλαίωσης σ
0,00	15,00	379,78	0,00	7,00	-0,1100	0.9992	0,9999	1,510	22,6500	2,020	0,208	381,498	1,257	0,0008	0,530	0,0062	0,6419	2,2061	48,765
7,00	15,00	379,67	7,00	10,00	-0,1700	0.9986	0,9999	0,642	9,6280	4,735	1,143	381,455	0,591	0,0116	1,887	0,0122	0,6225	1,4036	8,858
17,00	15,00	379,50	17,00	30,00	-3,7000	0.9986	0,9925	0,622	9,3374	4,883	1,215	381,333	0,575	0,0128	1,976	0,0417	0,4050	1,3874	8,149
21,45	14,69	378,95	21,45	29,55	-3,6400	0.9986	0,9925	0,405	5,9490	7,664	2,993	382,345	0,384	0,0539	3,845	0,0643	0,3736	1,2257	3,298
47,00	12,90	375,80	47,00	4,00	-0,4900	0.9986	0,9926	0,405	5,2246	8,726	3,881	380,083	0,381	0,0706	4,378	0,0726	0,4037	1,2549	2,551
51,00	12,62	375,31	51,00	26,00	-3,2100	0.9986	0,9925	0,404	5,0944	8,949	4,082	379,792	0,379	0,0746	4,497	0,0825	0,4208	1,2594	2,430
77,00	10,80	372,10	77,00	30,00	-3,7000	0.9906	0,9925	0,421	4,5442	10,033	5,130	377,648	0,390	0,0903	4,938	0,0913	0,4817	1,3101	1,945
107,00	8,70	368,40	107,00	30,00	-3,7000	0.9908	0,9925	0,482	4,1912	10,878	6,031	374,909	0,434	0,0923	5,004	0,0973	0,4934	1,4086	1,656
117,00	8,00	367,17	117,00	34,00	-4,1900	0.9907	0,9925	0,493	3,9469	11,551	6,800	374,460	0,439	0,1023	5,250	0,1082	0,4750	1,4425	1,466
137,00	8,00	364,70	137,00	30,00	-3,7000	0.9907	0,9925	0,493	3,9469	11,551	6,800	371,990	0,439	0,1023	5,250	0,1082	0,4767	1,4425	1,467
151,00	8,00	362,98	151,00	46,00	-10,5800	0.9907	0,9746	0,477	3,8135	11,955	7,284	370,729	0,426	0,1142	5,528	0,1669	0,4016	1,4337	1,358
167,00	8,00	361,00	167,00	30,00	-8,6000	0.9907	0,9613	0,477	3,8135	11,955	7,284	368,743	0,426	0,1142	5,528	0,1669	0,3886	1,4337	1,355
197,00	8,00	352,40	197,00	30,00	-8,6000	0.9280	0,9613	0,389	3,1088	14,665	10,961	363,735	0,354	0,2197	7,511	0,2423	0,3666	1,3962	0,899
227,00	8,0	343,80	227,00	15,00	-4,3000	0.9274	0,9613	0,367	2,9332	15,543	12,313	356,465	0,336	0,2649	8,195	0,2694	0,3629	1,3900	0,800
242,00	8,0	339,50	242,00	15,00	-3,1500	0.9278	0,9787	0,363	2,9031	15,704	12,569	352,425	0,333	0,2738	8,323	0,2606	0,3745	1,3891	0,785
257,00	8,0	336,35	257,00	30,20	-6,3500	0.9278	0,9786	0,375	2,9964	15,215	11,799	348,516	0,342	0,2473	7,938	0,2362	0,3857	1,3921	0,837
287,20	8,0	330,00	287,20			0.9279	0,6565	0,386	3,0853	14,776	11,128	341,382	0,352	0,2251				1,3953	0,876



**Πίνακας 4.2:** Υπολογισμός ανομοιόμορφης ροής στην διώρυγα φυγής

Παροχή 45,59 m<sup>3</sup>/s

Σταθερά Manning n 0,014

Σταθερά Coriolis α 1

Χ.Θ.	Πλάτος πυθμένα b (m)	Στάθμη πυθμένα z (m)	Απόσταση από την αρχή χ (m)	Δχ (m)	Δz (m)	cosθ	Βάθος νερού d (m)	Εμβαδόν υγρής διατομής (m <sup>2</sup> )	Ταχύτητα Ροής (m/s)	Φορτίο ταχύτητας h <sub>v</sub> (m)	Συνολικό υδραυλικό φορτίο h (m)	Υδραυλική ακτίνα r(m)	Κλίση πιεζομετρικής γραμμής s <sub>1</sub>	Αριθμός Froude	Μέση κλίση πιεζομετρικής γραμμής	Προσέγγιση υδραυλικού φορτίου h στην επόμενη θέση (m)	Νέα προσέγγιση βάθους d στην επόμενη θέση (m)	Απαιτούμενο ύψος πλευρικών τοιχών(m)	Δείκτης σπηλαίωσης σ
0,00	15,00	379,78	0,00	7,00	-0,1100	0,9999	1,510	22,6500	2,020	0,208	381,498	1,257	0,0006	0,527	0,0048	381,464	0,6382	2,2061	48,748
7,00	15,00	379,67	7,00	10,00	-0,1700	0,9999	0,638	9,5728	4,762	1,156	381,464	0,588	0,0090	1,903	0,0097	381,367	0,6112	1,4005	8,746
17,00	15,00	379,50	17,00	30,00	-3,7000	0,9925	0,611	9,1674	4,973	1,261	381,367	0,565	0,0104	2,031	0,0350	380,316	0,3928	1,3780	7,846
21,45	14,69	378,95	21,45	29,55	-3,6400	0,9925	0,393	5,7694	7,902	3,183	382,522	0,373	0,0456	4,026	0,0548	380,904	0,3563	1,2178	3,096
47,00	12,90	375,80	47,00	4,00	-0,4900	0,9926	0,393	5,0669	8,998	4,126	380,316	0,370	0,0597	4,584	0,0618	380,069	0,3901	1,2476	2,396
51,00	12,62	375,31	51,00	26,00	-3,2100	0,9925	0,390	4,9226	9,261	4,372	380,069	0,367	0,0639	4,734	0,0727	378,178	0,3998	1,2515	2,264
77,00	10,80	372,10	77,00	30,00	-3,7000	0,9925	0,400	4,3183	10,557	5,681	378,178	0,372	0,0816	5,331	0,0837	375,665	0,4532	1,2988	1,751
107,00	8,70	368,40	107,00	10,00	-1,2300	0,9925	0,453	3,9426	11,563	6,815	375,665	0,410	0,0859	5,484	0,0855	374,810	0,4807	1,3932	1,464
117,00	8,00	367,17	117,00	34,00	-4,1900	0,9925	0,481	3,8458	11,855	7,163	374,810	0,429	0,0851	5,459	0,0949	371,583	0,4505	1,4358	1,389
137,00	8,00	364,70	137,00	30,00	-3,7000	0,9925	0,450	3,6040	12,650	8,156	373,303	0,405	0,1047	6,017	0,1076	370,075	0,4373	1,4208	1,218
151,00	8,00	362,98	151,00	16,00	-1,9800	0,9924	0,450	3,6040	12,650	8,156	371,583	0,405	0,1047	6,017	0,1076	369,861	0,4430	1,4208	1,219
167,00	8,00	361,00	167,00	30,00	-8,6000	0,9613	0,443	3,5438	12,865	8,435	369,861	0,399	0,1105	6,171	0,1576	365,134	0,3656	1,4174	1,168
197,00	8,00	352,40	197,00	30,00	-8,6000	0,9613	0,366	2,9250	15,586	12,382	365,134	0,335	0,2047	8,230	0,2290	358,264	0,3422	1,3898	0,794
227,00	8,0	343,80	227,00	15,00	-4,3000	0,9613	0,342	2,7377	16,653	14,134	358,263	0,315	0,2533	9,089	0,2593	354,374	0,3374	1,3850	0,695
242,00	8,0	339,50	242,00	15,00	-3,1500	0,9787	0,337	2,6989	16,892	14,543	354,373	0,311	0,2653	9,285	0,2553	350,544	0,3456	1,3843	0,676
257,00	8,0	336,35	257,00	30,20	-6,3500	0,9786	0,346	2,7651	16,488	13,855	350,544	0,318	0,2453	8,954	0,2359	343,419	0,3543	1,3856	0,711
287,20	8,0	330,00	287,20			0,6565	0,354	2,8344	16,085	13,186	343,419	0,325	0,2265	8,628				1,3872	0,788

Πίνακας 4.3: Υπολογισμός ανομοιόμορφης ροής στην διώρυγα φυγής

Παροχή 25,02 m³/s  
Σταθερά Manning n 0,016  
Σταθερά Coriolis α 1

Χ.Θ.	Πλάτος πυθμένα b (m)	Στάθμη πυθμένα z (m)	Απόσταση από την αρχή χ (m)	Δχ (m)	Δz (m)	cosθ	Βάθος νερού d (m)	Εμβαδόν υγρής διατομής (m2)	Ταχύτητα Ροής (m/s)	Φορτίο ταχύτητας hν (m)	Συνολικό υδραυλικό φορτίο h (m)	Υδραυλική ακτίνα r(m)	Κλίση πιεζομετρικής γραμμής s1	Αριθμός Froude	Μέση κλίση πιεζομετρικής γραμμής	Προσέγγιση υδραυλικού φορτίου h στην επόμενη θέση (m)	Νέα προσέγγιση βάθους d στην επόμενη θέση (m)	Απαιτούμενο ύψος πλευρικών τοιχών(m)	Δείκτης σπηλαίωσης σ
0,00	15,00	379,78	0,00	7,00	-0,1100	0,9999	0,830	12,4500	2,000	0,204	380,814	0,747	0,0015	0,700	0,0054	380,776	0,4741	1,5098	48,923
7,00	15,00	379,67	7,00	10,00	-0,1700	0,9999	0,474	7,1121	3,518	0,631	380,775	0,446	0,0093	1,631	0,0106	380,669	0,4401	1,1861	15,758
17,00	15,00	379,50	17,00	30,00	-3,7000	0,9925	0,440	6,6016	3,790	0,732	380,669	0,416	0,0119	1,824	0,0548	379,025	0,2540	1,1572	13,320
21,45	14,69	378,95	21,45	29,55	-3,6400	0,9925	0,254	3,7303	6,707	2,293	381,495	0,245	0,0749	4,249	0,0875	378,909	0,2443	1,0218	4,249
47,00	12,90	375,80	47,00	4,00	-0,4900	0,9926	0,254	3,2761	7,637	2,973	379,025	0,244	0,0977	4,839	0,0989	378,629	0,2556	1,0437	3,281
51,00	12,62	375,31	51,00	26,00	-3,2100	0,9925	0,256	3,2262	7,755	3,065	378,629	0,246	0,1001	4,897	0,1032	375,946	0,2767	1,0485	3,189
77,00	10,80	372,10	77,00	30,00	-3,7000	0,9925	0,277	2,9889	8,371	3,572	375,946	0,263	0,1063	5,080	0,1046	372,810	0,3210	1,0895	2,749
107,00	8,70	368,40	107,00	10,00	-1,2300	0,9925	0,321	2,7927	8,959	4,091	372,809	0,299	0,1028	5,049	0,1017	371,792	0,3412	1,1589	2,405
117,00	8,00	367,17	117,00	34,00	-4,1900	0,9925	0,341	2,7292	9,167	4,284	371,792	0,314	0,1007	5,011	0,1099	368,056	0,3238	1,1892	2,293
137,00	8,00	364,70	137,00	30,00	-3,7000	0,9925	0,324	2,5906	9,658	4,754	369,776	0,300	0,1191	5,419	0,1204	366,162	0,3204	1,1803	2,065
151,00	8,00	362,98	151,00	16,00	-1,9800	0,9924	0,324	2,5906	9,658	4,754	368,056	0,300	0,1191	5,419	0,1204	366,128	0,3216	1,1803	2,065
167,00	8,00	361,00	167,00	30,00	-8,6000	0,9613	0,322	2,5731	9,724	4,819	366,128	0,298	0,1218	5,474	0,1919	360,372	0,2540	1,1792	2,022
197,00	8,00	352,40	197,00	30,00	-8,6000	0,9613	0,254	2,0319	12,314	7,728	360,372	0,239	0,2620	7,801	0,2733	352,172	0,2476	1,1537	1,260
227,00	8,0	343,80	227,00	15,00	-4,3000	0,9613	0,248	1,9806	12,633	8,134	352,172	0,233	0,2847	8,106	0,2852	347,894	0,2473	1,1523	1,197
242,00	8,0	339,50	242,00	15,00	-3,1500	0,9787	0,247	1,9784	12,646	8,152	347,894	0,233	0,2857	8,119	0,2633	343,944	0,2606	1,1523	1,197
257,00	8,0	336,35	257,00	30,20	-6,3500	0,9786	0,261	2,0851	12,000	7,339	343,944	0,245	0,2409	7,504	0,2285	337,043	0,2695	1,1554	1,330
287,20	8,0	330,00	287,20			0,6565	0,269	2,1556	11,607	6,866	337,043	0,252	0,2162	7,139				1,1580	1,502

**Πίνακας 4.4:** Υπολογισμός ανομοιόμορφης ροής στην διώρυγα φυγής

Παροχή 25,02 m<sup>3</sup>/s

Σταθερά Manning n 0,014

Σταθερά Coriolis α 1

Χ.Θ.	Πλάτος πυθμένα b (m)	Στάθμη πυθμένα z (m)	Απόσταση από την αρχή χ (m)	Δχ (m)	Δz (m)	cosθ	Βάθος νερού d (m)	Εμβαδόν υγρής διατομής (m <sup>2</sup> )	Ταχύτητα Ροής (m/s)	Φορτίο ταχύτητας h <sub>v</sub> (m)	Συνολικό υδραυλικό φορτίο h (m)	Υδραυλική ακτίνα r(m)	Κλίση πιεζομετρικής γραμμής s <sub>1</sub>	Αριθμός Froude	Μέση κλίση πιεζομετρικής γραμμής	Προσέγγιση υδραυλικού φορτίου h στην επόμενη θέση (m)	Νέα προσέγγιση βάθους d στην επόμενη θέση (m)	Απαιτούμενο ύψος πλευρικών τοιχών(m)	Δείκτης σπηλαίωσης σ
0,00	15,00	379,78	0,00	7,00	-0,1100	0,9999	0,830	12,4500	2,000	0,204	380,814	0,747	0,0012	0,700	0,0043	380,784	0,4694	1,5098	48,900
7,00	15,00	379,67	7,00	10,00	-0,1700	0,9999	0,469	7,0410	3,553	0,644	380,783	0,442	0,0074	1,656	0,0086	380,697	0,4289	1,1820	15,427
17,00	15,00	379,50	17,00	30,00	-3,7000	0,9925	0,429	6,4332	3,889	0,771	380,697	0,406	0,0099	1,896	0,0477	379,266	0,2439	1,1479	12,637
21,45	14,69	378,95	21,45	29,55	-3,6400	0,9925	0,244	3,5821	6,985	2,487	381,679	0,236	0,0656	4,516	0,0774	379,392	0,2279	1,0160	3,911
47,00	12,90	375,80	47,00	4,00	-0,4900	0,9926	0,244	3,1459	7,953	3,224	379,266	0,235	0,0855	5,142	0,0874	378,917	0,2440	1,0385	3,022
51,00	12,62	375,31	51,00	26,00	-3,2100	0,9925	0,244	3,0796	8,124	3,364	378,916	0,235	0,0892	5,251	0,0953	376,439	0,2589	1,0427	2,900
77,00	10,80	372,10	77,00	30,00	-3,7000	0,9925	0,259	2,7956	8,950	4,083	376,439	0,247	0,1013	5,616	0,1004	373,426	0,2985	1,0808	2,400
107,00	8,70	368,40	107,00	10,00	-1,2300	0,9925	0,299	2,5973	9,633	4,730	373,426	0,279	0,0996	5,629	0,0986	372,440	0,3172	1,1478	2,075
117,00	8,00	367,17	117,00	34,00	-4,1900	0,9925	0,317	2,5374	9,860	4,956	372,440	0,294	0,0975	5,590	0,1069	368,804	0,3004	1,1770	1,977
137,00	8,00	364,70	137,00	30,00	-3,7000	0,9925	0,300	2,4029	10,413	5,526	370,524	0,279	0,1164	6,066	0,1181	366,981	0,2958	1,1695	1,772
151,00	8,00	362,98	151,00	16,00	-1,9800	0,9924	0,300	2,4029	10,413	5,526	368,804	0,279	0,1164	6,066	0,1181	366,914	0,2976	1,1695	1,773
167,00	8,00	361,00	167,00	30,00	-8,6000	0,9613	0,298	2,3809	10,508	5,628	366,914	0,277	0,1199	6,150	0,1834	361,412	0,2383	1,1683	1,729
197,00	8,00	352,40	197,00	30,00	-8,6000	0,9613	0,238	1,9060	13,127	8,782	361,411	0,225	0,2470	8,586	0,2635	353,506	0,2293	1,1506	1,107
227,00	8,0	343,80	227,00	15,00	-4,3000	0,9613	0,229	1,8340	13,642	9,486	353,506	0,217	0,2800	9,097	0,2817	349,280	0,2284	1,1495	1,025
242,00	8,0	339,50	242,00	15,00	-3,1500	0,9787	0,228	1,8272	13,693	9,556	349,280	0,216	0,2834	9,148	0,2641	345,318	0,2389	1,1494	1,019
257,00	8,0	336,35	257,00	30,20	-6,3500	0,9786	0,239	1,9113	13,091	8,734	345,318	0,225	0,2448	8,551	0,2318	338,317	0,2473	1,1507	1,115
287,20	8,0	330,00	287,20			0,6565	0,247	1,9781	12,649	8,154	338,317	0,233	0,2189	8,121				1,1523	1,264