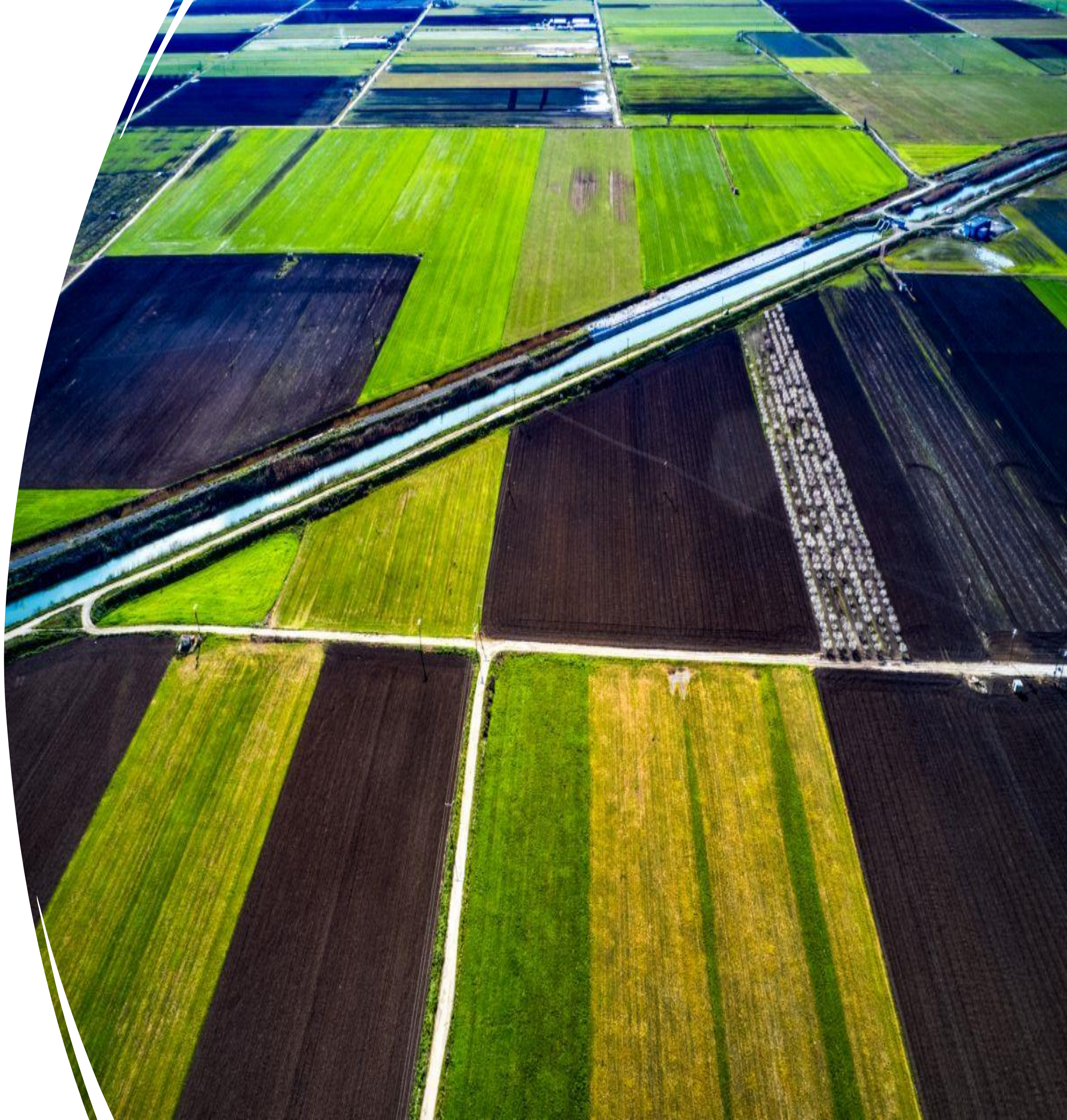
# ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ


- **Σαμαρίνας Ν.**
- **Ευαγγελίδης Χ.**

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement

Η εφαρμογή του πρώτου τύπου του Clement επιτρέπει το στατιστικό προσδιορισμό των παροχών ζητήσεως για μια δοσμένη ποιότητα λειτουργίας. Το μαθηματικό μοντέλο είναι ικανοποιητικό, εφόσον οι **ατομικές ζητήσεις είναι ανεξάρτητες και ο αριθμός των υδροστομίων μεγάλος**.

Στην πραγματικότητα όμως:

- Τα υδροστόμια δεν έχουν την ίδια παροχή
- Η συχνότητα λειτουργίας τους διαφέρει
- Οι ζητήσεις δεν είναι εντελώς ανεξάρτητες
- Ο αριθμός των υδροστομίων είναι συχνά μικρός κλπ.

Για τους παραπάνω λόγους ο Clement μελέτησε και παρουσίασε το 1966 ένα **δεύτερο τύπο**, το ίδιο απλό, όπως και ο πρώτος, που διέπεται όμως από την θεωρία των στοχαστικών διαδικασιών (διαδικασίες Markov, διαδικασίες γεννήσεως και θανάτου, κλπ.) και η απόδειξη του οποίου ξεφεύγει από τα όρια της ύλης αυτής. Έτσι θα αρκεστούμε σε μια γενική περιγραφή του τύπου αυτού.

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement

Στον πρώτο τύπο είχαμε ορίσει την παράσταση $1 - F(x)$ σαν πιθανότητα απώλειας ή εμφράξεως του δικτύου. Στην περίπτωση του δεύτερου τύπου ο Clement εισάγει την παράσταση $F(\mathrm{a})$, που την ονομάζει **συσσώρευση ζήτησης** ως εξής:

$$F(\mathrm{a}) = \frac{1}{\sqrt{R \cdot p \cdot q}} \cdot H(U)$$

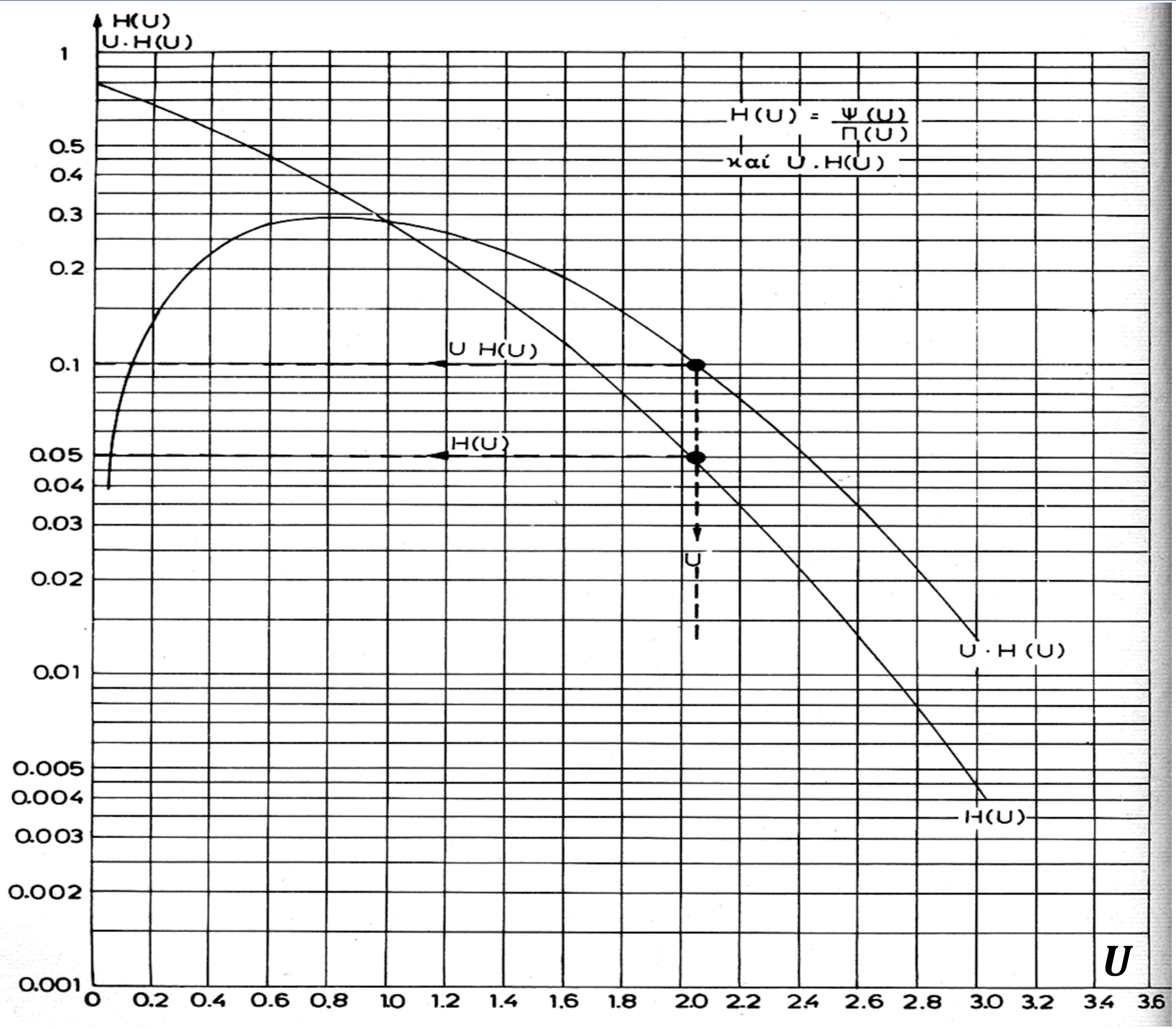
Όπου:

$$H(U) = \frac{f(U)}{F(U)} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-(U^2)/2}}{\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\infty}^{U} e^{-(U^2)/2} dU'} = \frac{\frac{d}{dU'}[F(U)]}{F(U)} = \frac{\Psi(U)}{\Pi(U)}$$

Η συσσώρευση ζήτησης $F(\mathrm{a})$ εκφράζει σε ποσοστό «επι τοις εκατό» τον αριθμό των υδροστομίων, που σε μια ορισμένη στιγμή δε θα εξυπηρετήσουν τον καλλιεργητή. Έτσι $F(\mathrm{a})$=1% σημαίνει ότι σε 100 υδροστόμια το ένα θα είναι κλειστό.

Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η γραφική παράσταση της συνάρτησης $H(U')$

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement




Γραφική παράσταση μιας συνάρτησης $H(U)$

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement

**Τιμές των συναρτήσεων H(U) και UH(U)**

| U | H(U) | UH(U) | U | H(U) | UH(U) | U | H(U) | UH(U) | U | H(U) | UH(U) | U | H(U) | UH(U) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,0000 | 0,7979 | 0,0000 | 0,6250 | 0,4467 | 0,2792 | 1,2500 | 0,2036 | 0,2546 | 1,8750 | 0,0707 | 0,1326 | 2,5000 | 0,0176 | 0,0440 |
| 0,0250 | 0,7820 | 0,0196 | 0,6500 | 0,4348 | 0,2826 | 1,2750 | 0,1963 | 0,2503 | 1,9000 | 0,0674 | 0,1280 | 2,5250 | 0,0165 | 0,0417 |
| 0,0500 | 0,7663 | 0,0383 | 0,6750 | 0,4231 | 0,2856 | 1,3000 | 0,1892 | 0,2459 | 1,9250 | 0,0641 | 0,1234 | 2,5500 | 0,0155 | 0,0396 |
| 0,0750 | 0,7508 | 0,0563 | 0,7000 | 0,4115 | 0,2880 | 1,3250 | 0,1822 | 0,2414 | 1,9500 | 0,0610 | 0,1189 | 2,5750 | 0,0145 | 0,0375 |
| 0,1000 | 0,7353 | 0,0735 | 0,7250 | 0,4001 | 0,2901 | 1,3500 | 0,1754 | 0,2368 | 1,9750 | 0,0580 | 0,1145 | 2,6000 | 0,0136 | 0,0354 |
| 0,1250 | 0,7200 | 0,0900 | 0,7500 | 0,3889 | 0,2917 | 1,3750 | 0,1688 | 0,2321 | 2,0000 | 0,0551 | 0,1102 | 2,6250 | 0,0128 | 0,0335 |
| 0,1500 | 0,7049 | 0,1057 | 0,7750 | 0,3779 | 0,2929 | 1,4000 | 0,1624 | 0,2273 | 2,0250 | 0,0523 | 0,1060 | 2,6500 | 0,0119 | 0,0317 |
| 0,1750 | 0,6899 | 0,1207 | 0,8000 | 0,3670 | 0,2936 | 1,4250 | 0,1561 | 0,2224 | 2,0500 | 0,0497 | 0,1018 | 2,6750 | 0,0112 | 0,0299 |
| 0,2000 | 0,6750 | 0,1350 | 0,8250 | 0,3564 | 0,2940 | 1,4500 | 0,1500 | 0,2175 | 2,0750 | 0,0471 | 0,0978 | 2,7000 | 0,0104 | 0,0282 |
| 0,2250 | 0,6603 | 0,1486 | 0,8500 | 0,3459 | 0,2940 | 1,4750 | 0,1441 | 0,2125 | 2,1000 | 0,0447 | 0,0938 | 2,7250 | 0,0098 | 0,0266 |
| 0,2500 | 0,6458 | 0,1614 | 0,8750 | 0,3356 | 0,2937 | 1,5000 | 0,1383 | 0,2075 | 2,1250 | 0,0423 | 0,0899 | 2,7500 | 0,0091 | 0,0251 |
| 0,2750 | 0,6314 | 0,1736 | 0,9000 | 0,3255 | 0,2930 | 1,5250 | 0,1327 | 0,2024 | 2,1500 | 0,0401 | 0,0862 | 2,7750 | 0,0085 | 0,0236 |
| 0,3000 | 0,6171 | 0,1851 | 0,9250 | 0,3156 | 0,2920 | 1,5500 | 0,1273 | 0,1974 | 2,1750 | 0,0379 | 0,0825 | 2,8000 | 0,0079 | 0,0222 |
| 0,3250 | 0,6031 | 0,1960 | 0,9500 | 0,3059 | 0,2906 | 1,5750 | 0,1221 | 0,1923 | 2,2000 | 0,0359 | 0,0790 | 2,8250 | 0,0074 | 0,0209 |
| 0,3500 | 0,5891 | 0,2062 | 0,9750 | 0,2964 | 0,2889 | 1,6000 | 0,1170 | 0,1871 | 2,2250 | 0,0339 | 0,0755 | 2,8500 | 0,0069 | 0,0196 |
| 0,3750 | 0,5753 | 0,2158 | 1,0000 | 0,2870 | 0,2870 | 1,6250 | 0,1120 | 0,1820 | 2,2500 | 0,0321 | 0,0721 | 2,8750 | 0,0064 | 0,0184 |
| 0,4000 | 0,5617 | 0,2247 | 1,0250 | 0,2778 | 0,2848 | 1,6500 | 0,1072 | 0,1769 | 2,2750 | 0,0303 | 0,0689 | 2,9000 | 0,0060 | 0,0173 |
| 0,4250 | 0,5483 | 0,2330 | 1,0500 | 0,2688 | 0,2823 | 1,6750 | 0,1026 | 0,1719 | 2,3000 | 0,0286 | 0,0657 | 2,9250 | 0,0055 | 0,0162 |
| 0,4500 | 0,5350 | 0,2407 | 1,0750 | 0,2600 | 0,2795 | 1,7000 | 0,0981 | 0,1668 | 2,3250 | 0,0270 | 0,0627 | 2,9500 | 0,0051 | 0,0152 |
| 0,4750 | 0,5219 | 0,2479 | 1,1000 | 0,2514 | 0,2766 | 1,7250 | 0,0938 | 0,1618 | 2,3500 | 0,0254 | 0,0597 | 2,9750 | 0,0048 | 0,0142 |
| 0,5000 | 0,5089 | 0,2545 | 1,1250 | 0,2430 | 0,2734 | 1,7500 | 0,0896 | 0,1568 | 2,3750 | 0,0239 | 0,0569 | 3,0000 | 0,0044 | 0,0133 |
| 0,5250 | 0,4961 | 0,2605 | 1,1500 | 0,2348 | 0,2700 | 1,7750 | 0,0855 | 0,1518 | 2,4000 | 0,0225 | 0,0541 | | | |
| 0,5500 | 0,4835 | 0,2659 | 1,1750 | 0,2267 | 0,2664 | 1,8000 | 0,0816 | 0,1469 | 2,4250 | 0,0212 | 0,0514 | | | |
| 0,5750 | 0,4711 | 0,2709 | 1,2000 | 0,2188 | 0,2626 | 1,8250 | 0,0779 | 0,1421 | 2,4500 | 0,0199 | 0,0489 | | | |
| 0,6000 | 0,4588 | 0,2753 | 1,2250 | 0,2111 | 0,2587 | 1,8500 | 0,0742 | 0,1373 | 2,4750 | 0,0187 | 0,0464 | | | |

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement

$$N = R \cdot p + U\sqrt{R \cdot p \cdot q}$$

Και αντικαθιστούμε την τιμή της παράστασης $\sqrt{R \cdot p \cdot q}$ από την εξίσωση

$$F(\mathrm{a}) = \frac{1}{\sqrt{R \cdot p \cdot q}} \cdot H(U)$$

Οπότε:

$$\boxed{N = R \cdot p + \frac{U \cdot H(U)}{F(\mathrm{a})} = A + \frac{U \cdot H(U)}{F(\mathrm{a})}}$$

Η παραπάνω εξίσωση αποτελεί το **δεύτερο τύπο του Clement**. Ο τύπος αυτός δίνει το μέγιστο αριθμό των ανοικτών υδροστομίων Ν στο γενικό σύνολο των εγκατεστημένων υδροστομίων R, έτσι ώστε να έχουμε μια συσσώρευση ζήτησης $F(\mathrm{a})$. Η παροχή θα είναι πάλι, ίση προς:

$$Q = N \cdot \mathrm{d}$$

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement

**Αριθμητική εφαρμογή και σύγκριση μεταξύ των δυο τύπων**

Θεωρούμε πάλι το συγκεκριμένο παράδειγμα του αρδευτικού δικτύου των Καβασίλων, στο οποίο είχαμε υπολογίσει την πιθανότητα λειτουργίας ίση με *p*=0.0338
Από τον πρώτο τύπο του Clement για ποιότητες λειτουργίας $F(x) = 99\%$ και $F(x) = 95\%$, βρίσκουμε αντίστοιχα:

$$N_{99\%} = 0.338R + 1.103\sqrt{R}$$

$$N_{95\%} = 0.338R + 0.778\sqrt{R}$$

Ο δεύτερος τύπος του Clement για συσσώρευση ζήτησης $F(\mathrm{a})$=1% παίρνει τη μορφή:

$$N = 0.338R + 100 \cdot U \cdot H(U)$$

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement

**Αριθμητική εφαρμογή και σύγκριση μεταξύ των δυο τύπων**

Η τιμή $H(U)$ υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση :

$$H(U) = F(\mathrm{a})\sqrt{R \cdot p \cdot q} = 0.00473\sqrt{R}$$

και η προηγούμενη σχέση γίνεται:

$$N = 0.338R + 0.473 \cdot U\sqrt{\mathrm{R}}$$

Με βάση τα στοιχεία αυτά λοιπόν καταρτίζουμε τον επόμενο πίνακα.

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement

**Αριθμητική εφαρμογή και σύγκριση μεταξύ των δυο τύπων**

| Ἐγκατεστημένα Ὑδροστόμια | Ὑπολογισμένα ὑδροστόμια | | |
|---|---|---|---|
| | Α΄ τύπος $F(x)=99\%$ | Α΄ τύπος $F(x)=95\%$ | Β΄ τύπος $F(a)=1\%$ |
| 20 | 11.69 | 10.24 | 11.92 |
| 40 | 20.49 | 18.44 | 20.25 |
| 60 | 28.82 | 26.30 | 28.26 |
| 100 | 44.83 | 41.58 | 43.49 |
| 150 | 64.21 | 60.23 | 61.99 |
| 200 | 83.20 | 78.60 | 80.04 |
| 400 | 157.26 | 150.76 | 151.28 |
| 900 | 337.29 | 327.54 | 325.20 |

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement

**Αριθμητική εφαρμογή και σύγκριση μεταξύ των δυο τύπων**

Για να καταλάβουμε καλύτερα τη σημασία των αποτελεσμάτων θα προσπαθήσουμε να βρούμε τη σχέση μεταξύ της ποιότητας λειτουργίας του πρώτου τύπου και της συσσώρευσης ζήτησης το δεύτερου τύπου.

Έτσι για ποιότητα λειτουργίας $F(x) = 99\%$ και $F(x) = 95\%$ έχουμε αντίστοιχα:

$$U_{99} = 2.324, \qquad U_{95} = 1.645$$

Με βάση το σχήμα που είδαμε παίρνουμε:

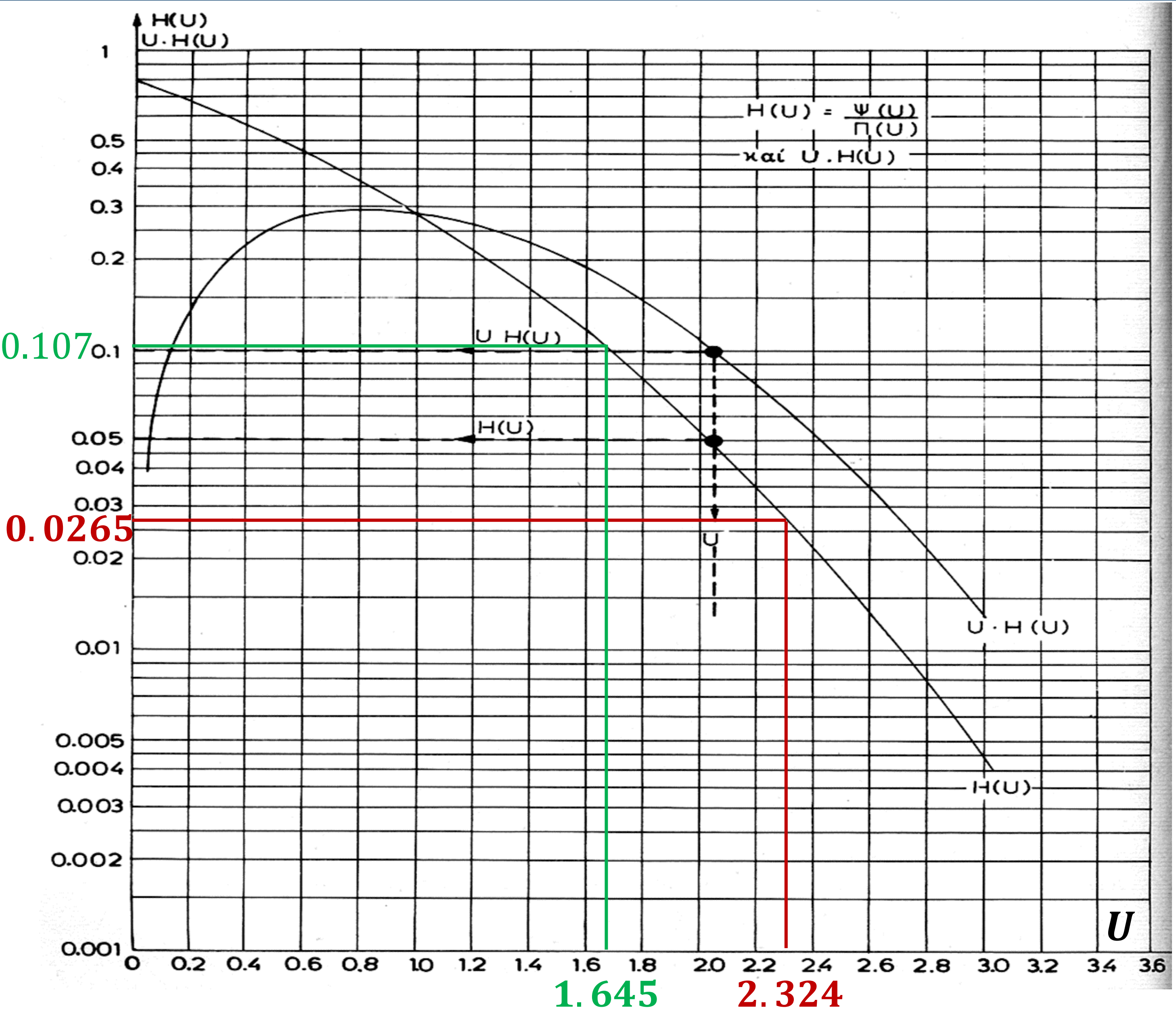
$$\mathrm{H}(U_{99}) = 0.0265, \qquad \mathrm{H}(U_{95}) = 0.107$$

Επομένως έχουμε τις δυο σχέσεις:

$$F(\mathrm{a})_{99} = \frac{0.0265}{\sqrt{R \cdot p \cdot q}} = \frac{0.056}{\sqrt{R}}, \qquad F(\mathrm{a})_{99} = \frac{0.226}{\sqrt{R}}$$

Με βάση τις σχέσεις αυτές καταρτίζουμε τώρα τον ακόλουθο πίνακα:

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement

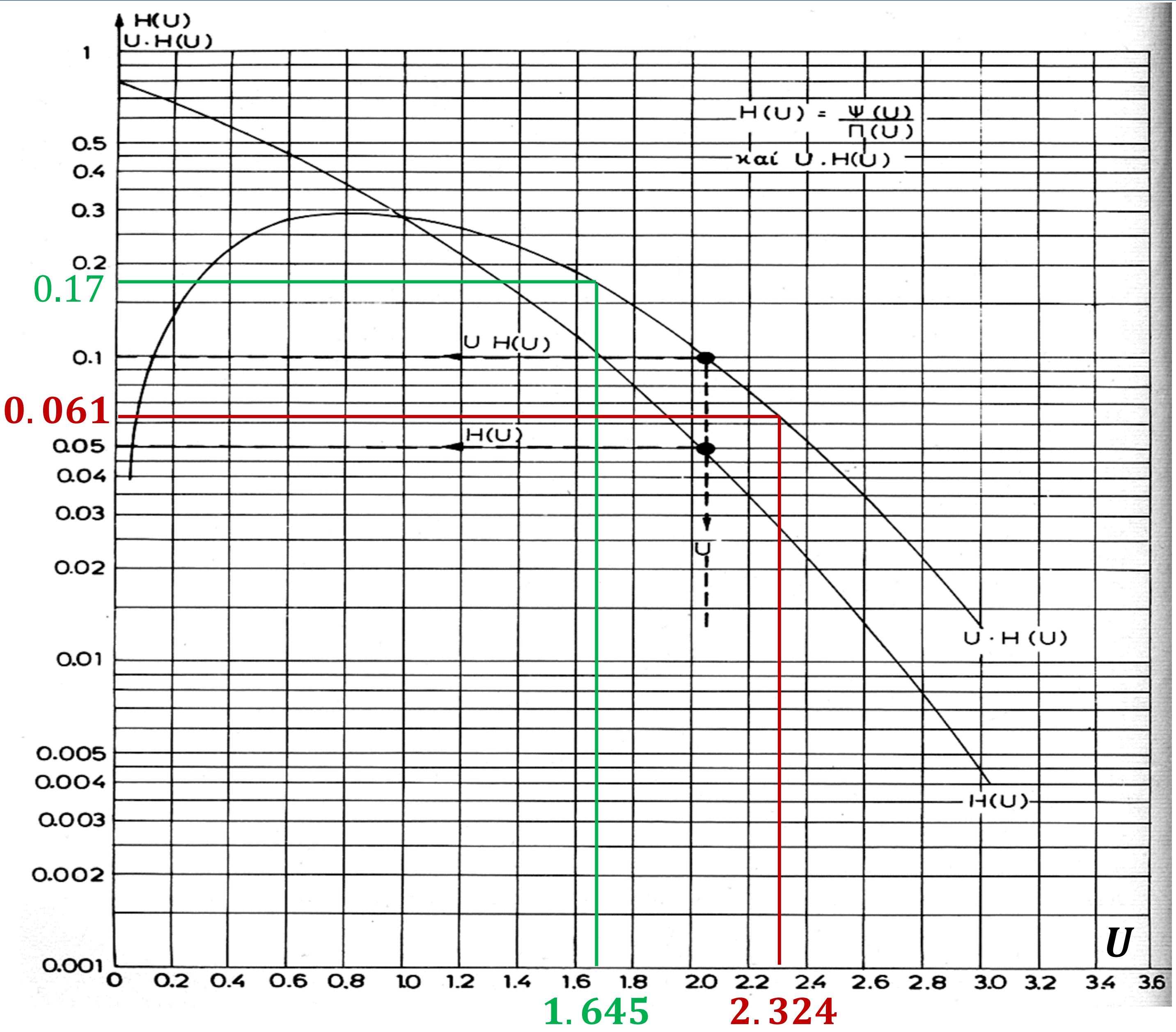



Γραφική παράσταση μιας συνάρτησης $H(U)$

$$U_{99} = 2.324, \qquad U_{95} = 1.645$$

$$\mathrm{H}(U_{99}) = 0.0265, \qquad \mathrm{H}(U_{95}) = 0.107$$

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement




Γραφική παράσταση μιας συνάρτησης $H(U)$

$$U_{99} \cdot \mathrm{H}(U_{99}) = 2.324 \cdot 0.0265 = 0.061$$

$$U_{95} \cdot \mathrm{H}(U_{95}) = 1.645 \cdot 0.107 = 0.17$$

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement

**Αριθμητική εφαρμογή και σύγκριση μεταξύ των δυο τύπων**

| Ἐγκατεστημένα ὑδροστόμια | Συσσώρευση ζήτησης $F$ (a) τοῦ δεύτερου τύπου γιά μιά ποιότητα λειτουργίας τοῦ πρώτου τύπου | |
|---|---|---|
| | $F(x) = 99\%$ | $F(x) = 95\%$ |
| 20 | 1.25 % | 5.05 % |
| 40 | 0.88 % | 3.57 % |
| 60 | 0.72 % | 2.92 % |
| 100 | 0.50 % | 2.26 % |
| 150 | 0.45 % | 1.84 % |
| 200 | 0.39 % | 1.60 % |
| 400 | 0.28 % | 1.13 % |
| 500 | 0.25 % | 1.01 % |
| 900 | 0.18 % | 0.75 % |

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement

**Αριθμητική εφαρμογή και σύγκριση μεταξύ των δυο τύπων**

Από τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι:

| | |
|---|---|
| $R$ → μικρό (R=40) | $R$ > 40 |
| ↓ | ↓ |
| $F(x) = 99\%$ | $F(x) = 99\%$ |
| ↓ | ↓ |
| $F(\mathrm{a}) = 1\%$ | $F(\mathrm{a}) < 1\%$ |

# 2. ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ Clement

**Αριθμητική εφαρμογή και σύγκριση μεταξύ των δυο τύπων**

Τι προτείνει ο Clement?

| **<u>Μικρά δίκτυα</u>** | **<u>Μεγάλα δίκτυα</u>** |
|---|---|
| ↓ | ↓ |
| 1ος Τύπος Clement | 2ος Τύπος Clement |
| ↓ | ↓ |
| $F(x) = 99\%$ | $F(\mathrm{a}) = 1\%$ |

Δεν συνιστά την εφαρμογή του 1ου τύπου με $F(x) = 95\%$ για τα μεγάλα δίκτυα, όπως κάνουν πολλοί μελετητές, γιατί όπως φαίνεται απο τα παραπάνω συμπεράσματα θα πρέπει το $R$ να πάρει τιμές μεγαλύτερες απο 500, έτσι ώστε η ποιότητα λειτουργίας $F(x) = 95\%$ να αντιστοιχεί σε μια συσσώρευση ζήτησης $F(\mathrm{a}) = 1\%$

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

## Εισαγωγή

**Αλλαγή της διαμέτρου σε κάποιο κλάδο**

↓

Επιρροή και σε άλλους αγωγούς του δικτύου

**Υπάρχει μεγάλο πλήθος απο δυνατούς συνδυασμούς διαμέτρων** → … → **Οικονομικότερη λύση**

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

## Εισαγωγή

Έχουν αναπτυχθεί δυο μέθοδοι για την αντιμετώπιση του βέλτιστου συνδυασμού των διαμέτρων:

1. Η συνεχής μέθοδος
2. Η ασυνεχής μέθοδος του *Labye*

**Ακτινωτά δίκτυα**

Βασικά οδηγούμαστε σε ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης μιας συνάρτησης $f$ με μεταβλητές τις πιεζομετρικές διαφορές των αγωγών οι οποίες υπόκεινται σε ορισμένους περιορισμούς. Ετσι καταλήγουμε στο μηδενισμό των πρώτων παραγώγων της συναρτήσεως $f$ προσθέτοντας συγχρόνως τις παραγώγους των περιοριστικών σχέσεων πολλαπλασιασμένες με κατάλληλους συντελεστές που καλούνται πολλαπλασιαστές του Lagrange.

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

## Εισαγωγή

Σύστημα μη γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων → Άγνωστοι τα υδραυλικά φορτία των αγωγών $\xrightarrow{\text{Οικονομικές διάμετροι}}$ Οικονομικά φορτία

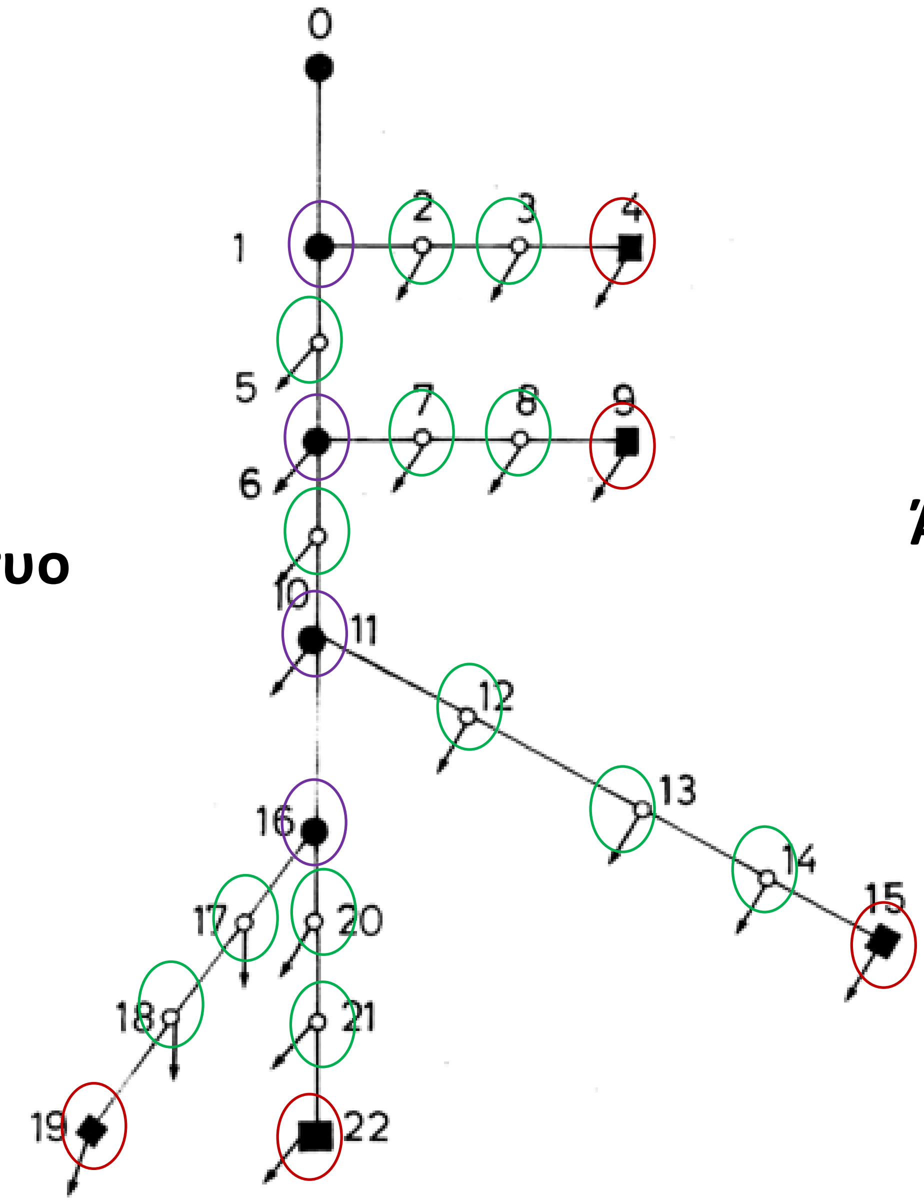
Επίλυση

- επαναληπτικές μέθοδοι
- Newton - Raphson

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Ορισμοί**

**Ακτινωτό αρδευτικό δίκτυο**




Πέρατα

Απλοί κόμβοι

Κόμβοι διακλαδώσεως

**Άθροισμα αγωγών = Άθροισμα κόμβων + Άθροισμα περάτων**

**Άθροισμα κόμβων = 17**

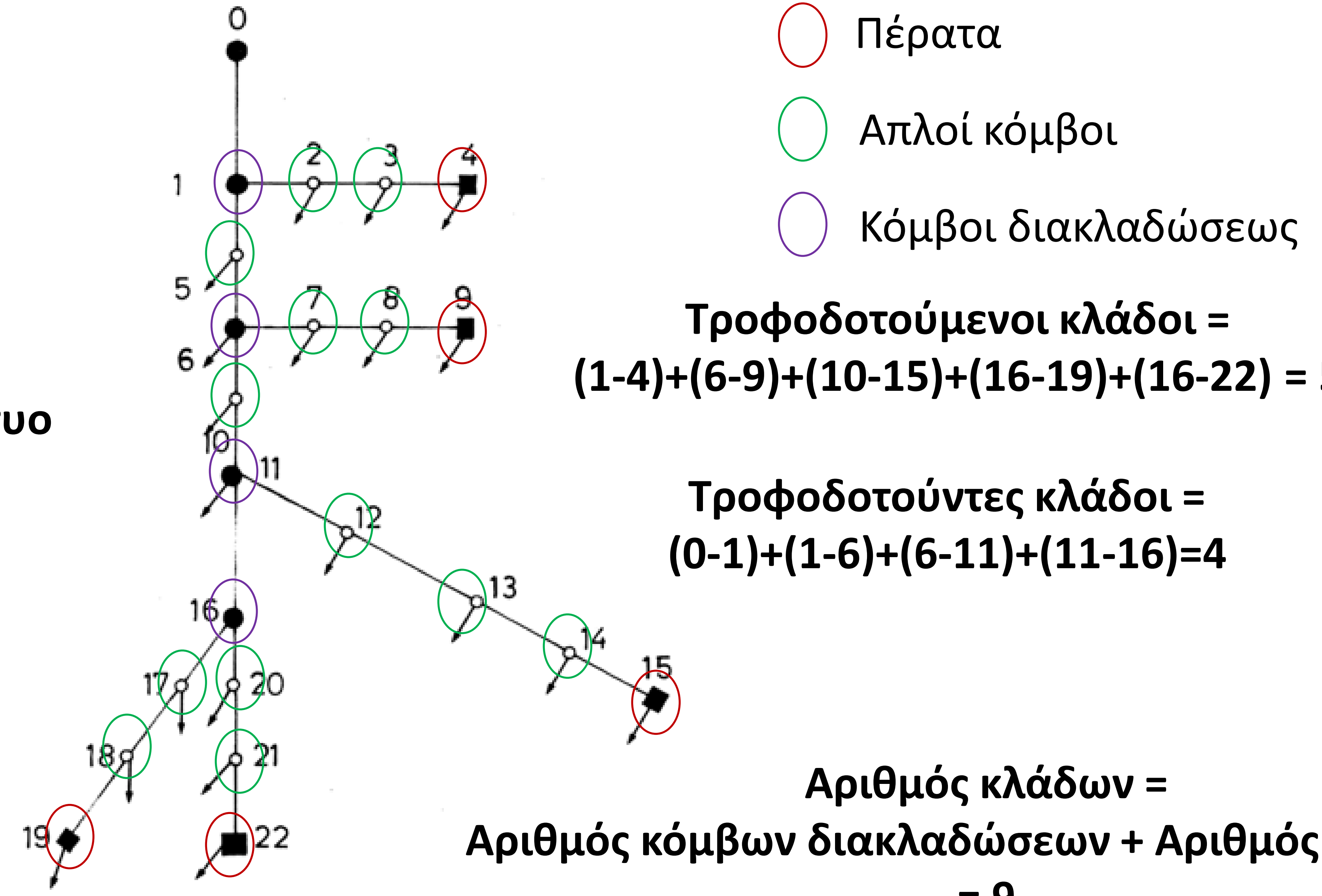
**Άθροισμα περάτων = 5**

**Άθροισμα αγωγών = 22**

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Ορισμοί**

**Ακτινωτό αρδευτικό δίκτυο**



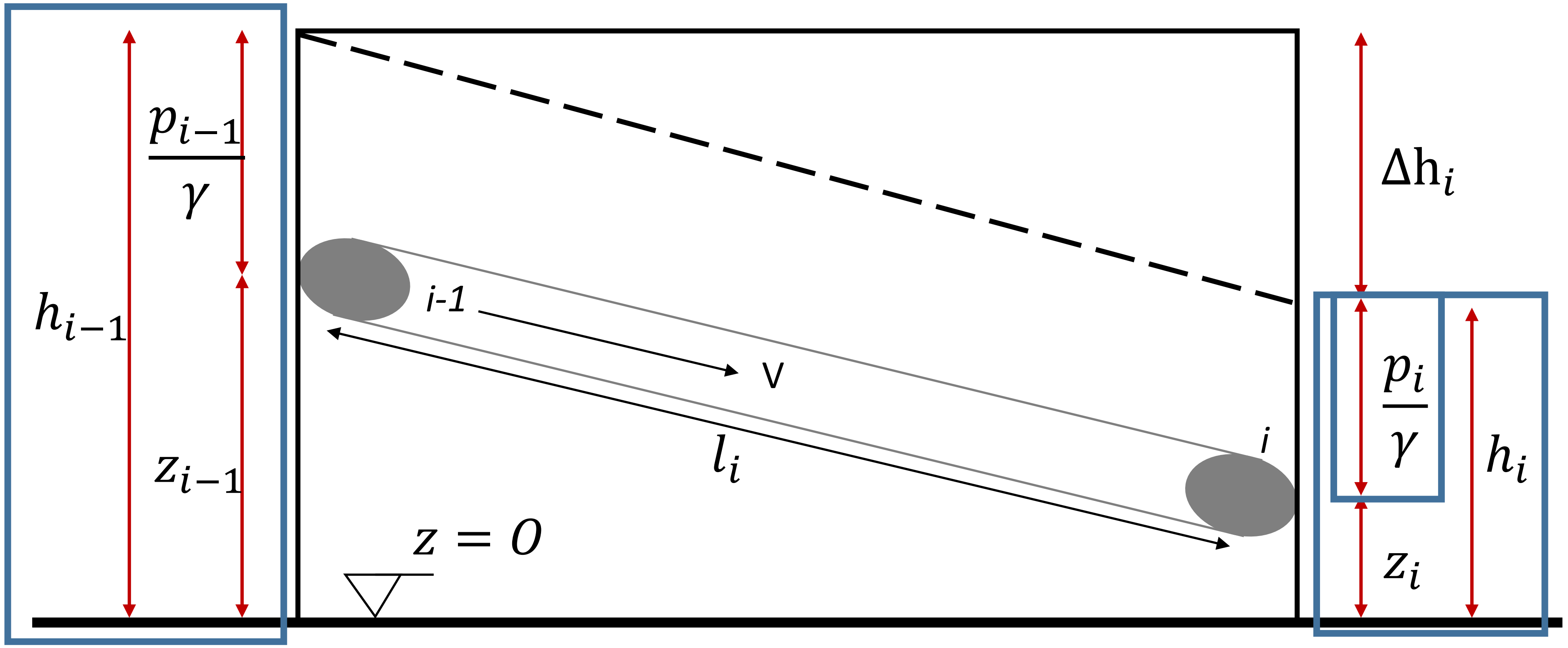

**Τροφοδοτούμενοι κλάδοι = (1-4)+(6-9)+(10-15)+(16-19)+(16-22) = 5**

**Τροφοδοτούντες κλάδοι = (0-1)+(1-6)+(6-11)+(11-16)=4**

**Αριθμός κλάδων = Αριθμός κόμβων διακλαδώσεων + Αριθμός περάτων = 9**

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Γενικά χαρακτηριστικά της συνεχούς μεθόδου για δίκτυο με βαρύτητα**



# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Ορίζουμε τώρα με $\delta_i$ τη δαπάνη του αγωγού *i* ανά μέτρο μήκους. Η ολική δαπάνη του **αγωγού** θα είναι:

$$\Delta_i = \delta_i \, l_i$$

Ενώ η ολική δαπάνη του **δικτύου** θα είναι ίση προς:

$$P = \sum_{i=1}^{n} \Delta_i = \sum_{i=1}^{n} \delta_i l_i$$

Ορίζουμε επίσης με $\Delta h_i$ το ύψος των απωλειών φορτίου του αγωγού *i* με μήκος $l_i$ και παροχή $Q_i$ που έχει καθοριστεί σύμφωνα με τη μέθοδο του Clement. Οι απώλειες $\Delta h_i$ συνδέονται με τη διάμετρο του αγωγού $D_i$ με την παροχή $Q_i$ και το μήκος $l_i$ με μια συναρτησιακή σχέση $\Delta h_i = \Delta h_i (D_i, Q_i, l_i)$ η οποία μπορεί να λυθεί ως προς $D_i$ και να προκύψει η σχέση:

$$D_i = D_i(\Delta h_i , l_i, Q_i)$$

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Η δαπάνη του αγωγού ανά τρέχον μέτρο $\delta_i$ συνδέεται επίσης με τη διάμετρο $D_i$ με μια σχέση της μορφής:

$$\delta_i = \delta_i(D_i)$$

η οποία παίρνοντας υπόψη και την $D_i = D_i(\Delta h_i, l_i, Q_i)$ γίνεται:

$$\delta_i = \delta_i(\Delta h_i, l_i, Q_i)$$

Έτσι η ολική δαπάνη του δικτύου *P* γίνεται συνάρτηση των *n* αγνώστων $\Delta h_i$ και των γνωστών παραμέτρων $l_i$ και $Q_i$, δηλαδή,

$$P = \sum_{i=1}^{n} \delta_i\left(\Delta h_{i,} I_{i,} Q_i\right) \cdot I_i$$

Για να βρούμε όμως την πιεζομετρική γραμμή του δικτύου που αντιστοιχεί στις οικονομικές διαμέτρους $D_i$ πρέπει να πάρουμε υπόψη μας και ορισμένους περιορισμούς:

α. Τα προκύπτοντα υψόμετρα της πιεζομετρικής γραμμής στα σημεία *i* πρέπει να είναι μεγαλύτερα ή ίσα από τα ελάχιστα ορισθέντα $h_{i,}$

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Δηλαδή πρέπει να ισχύει η σχέση:

$$\sum_{i=1}^{i} \Delta h_i \leq H_0 - h_i$$

Όπου $H_0$ είναι το υψόμετρο της πηγής Ο και το άθροισμα:

$$\sum_{i=1}^{i} \Delta h_i$$

νοείται κατά μήκος της διαδρομής της υδροληψίας *i*. Το σημείο της ισότητας πρέπει να ισχύει για την περίπτωση που έχουμε μια πλήρη διαδρομή (0-1-2-3-4 κτλπ.) και αυτό για να έχουμε πλήρη εκμετάλλευση του διαθέσιμου υδραυλικού φορτίου μεταξύ της πηγής Ο και κάθε πέρατος του δικτύου. Για την περίπτωση λοιπόν μιας πλήρης διαδρομής γράφουμε:

$$\sum_{i=1}^{i} \Delta h_i = H_0 - H_j$$

όπου $H_j$, είναι το πιεζομετρικό φορτίο του πέρατος j

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

β. Η προκύπτουσα πιεζομετρική γραμμή να μην τέμνει πουθενά το έδαφος. Αυτό εκφράζεται με τη σχέση:

$$\Delta h_i > 0 \qquad \text{για κάθε αγωγό } i$$

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω το μαθηματικό πρόβλημα που τίθεται για επίλυση έχει ως εξής:

Δίνεται η ολική δαπάνη $P$ του δικτύου σαν συνάρτηση των $\Delta h_i$ και ζητείται να βρεθεί το ελάχιστο κόστος του δικτύου $P_{min}$ όταν οι άγνωστοι $\Delta h_i$ υπόκεινται στους περιορισμού:

$$\sum_{i=1}^{i} \Delta h_i = H_0 - H_j \qquad\qquad \Delta h_i > 0$$

Αυτό αποτελεί ένα πρόβλημα ελαχιστοποιήσεως μιας συνάρτησης $P$ με πολλές ανεξάρτητες μεταβλητές $\Delta h_i$ οι μεταβλητές δε αυτές υπόκεινται σε ορισμένους περιορισμούς.

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

## Γραμμικές απώλειες

Η ταχύτητα μέσα στους κλειστούς υπο πίεση αγωγούς μπορεί να γραφτεί με τη μορφή:

$$V = C \cdot R^x \cdot S^y$$

Όπου ***C*** είναι ένας συντελεστής, ***R*** είναι η υδραυλική ακτίνα του αγωγού (R=D/4), ***S*** είναι η κλίση που οφείλεται στις τριβές και ***x*** και ***y*** είναι δυο σταθεροί εκθέτες.

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Γραμμικές απώλειες**

*Τύπος των Darcy-Weisbach*

Είναι η γνωστή σχέση

$$\Delta h = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Που οδηγεί στην ακόλουθη σχέση αν λύσουμε ως προς $V^2$

$$V^2 = \frac{2g}{f} \cdot D \cdot \frac{\Delta h}{l} = \frac{8g}{f} R \cdot S$$

ή

$$V = C \cdot R^{0.5} \cdot S^{0.5} (m/s) \qquad C = \sqrt{\frac{8g}{f}}$$

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Γραμμικές απώλειες**

*Τύπος των Darcy-Weisbach*

Ο αδιάστατος συντελεστής τριβής $f$ δίνεται από την ημιεμπειρική σχέση των Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2log_{10}\left\{\frac{K}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right\}$$

Στη παραπάνω σχέση ***K*** είναι η απόλυτη τραχύτητα του αγωγού και ***Re*** είναι ο αριθμός *Reynolds*. Στην περίπτωση λοιπόν της εξίσωσης

$$V = C \cdot R^{0.5} \cdot S^{0.5}(m/s)$$

ο συντελεστής ***C*** δεν είναι σταθερός αλλά είναι συνάρτηση της σχετικής τραχύτητας και του αριθμού *Reynolds*.

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Γραμμικές απώλειες**

*Τύπος των Chezy*

$$V = \mathrm{C} \cdot R^{0.5} \cdot S^{0.5} \quad \left({}^{m}/_{s}\right)$$

$$(x = 0.5, y = 0.5)$$

Όπου ο συντελεστής ***C*** υπολογίζεται με διάφορους τρόπους και είναι σταθερός.

*Τύπος των Manning - Strickler*

$$V = K_s \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{0.5} \quad \left({}^{m}/_{s}\right)$$

$$(x = 2/3, y = 0.5)$$

Όπου το $K_s$ εξαρτιέται από την ποιότητα των σωλήνων.

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Γραμμικές απώλειες**

*Τύπος του Scimeni για αμιαντοσωλήνες*

$$V = 164.99 \cdot R^{0.68} \cdot S^{0.56}\ (m/s)$$

*Τύπος των Scimeni – Veronese για χαλυβδοσωλήνες καινούριους*

$$V = 104.905 \cdot R^{0.59} \cdot S^{0.55}\ (m/s)$$

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Γραμμικές απώλειες**

Αν θέσουμε στην σχέση:

$$V = C \cdot R^x \cdot S^y$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}, \qquad R = \frac{D}{4}, \qquad S = \frac{\Delta h}{l},$$

γίνεται:

$$\frac{4Q}{\pi D^2} = C \cdot \frac{D^x}{4^x} \cdot \frac{\Delta h^y}{l^y} \quad \xrightarrow{\text{ή}} \quad D = \frac{\left(\dfrac{Q \cdot l^y}{\Delta h^y}\right)^{l/(x+2)}}{\left[\dfrac{C \cdot \pi}{4^{1+x}}\right]^{l/(x+2)}}$$

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Γραμμικές απώλειες**

Θέτουμε τώρα:

$$C_0 = \left[\frac{C \cdot \pi}{4^{1+x}}\right]^{l/(x+2)}$$

Οπότε

$$D = \frac{\left(\dfrac{Q \cdot l^y}{\Delta h^y}\right)^{l/(x+2)}}{\left[\dfrac{C \cdot \pi}{4^{1+x}}\right]^{l/(x+2)}} \longrightarrow D = \frac{1}{C_0} \cdot \left[Q \cdot \left(\frac{l}{\Delta h}\right)^y\right]^{l/(x+2)}$$

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Γραμμικές απώλειες**

Η ποσότητα $C_0$ έχει τις εξής τιμές:

*Τύπος των Darcy-Weisbach*

$$C_0 = \frac{1.6465}{f^{0.2}}$$

*Τύπος των Chezy*

$$C_0 = 0.688 \cdot C^{0.4}$$

*Τύπος των Manning - Strickler*

$$C_0 = 0.6458 \cdot K_s^{0.375}$$

*Τύπος του Scimeni για αμιαντοσωλήνες*

$$C_0 = 4.32$$

*Τύπος των Scimeni – Veronese για χαλυβδοσωλήνες καινούριους*

$$C_0 = 4.004$$

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

## Γραμμικές απώλειες

Σύμφωνα λοιπόν με όλα τα προηγούμενα προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ποσότητα $\boldsymbol{C_0}$ είναι **σταθερή** σ’ όλες τις περιπτώσεις, **εκτός** από τη περίπτωση του τύπου των *Darcy-Weisbach* όπου είναι συνάρτηση του $f$

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Κόστος των αγωγών ανα τρέχον μέτρο**

Η ανά τρέχον μέτρο δαπάνη των αγωγών μπορεί να τεθεί γενικά με την ακόλουθη σχετική σχέση:

$$\delta = \mathrm{A} \cdot D^{\nu} \tag{1}$$

Η δαπάνη αυτή περιλαμβάνει:

- το κόστος προμήθειας των αγωγών
- τη μεταφορά των αγωγών επι τόπου των έργων
- την τοποθέτησή τους
- την εκσκαφή του σκάμματος
- την επίχωση
- τις απαιτούμενες αντλήσεις
- τον καθαρισμό της ζώνης εργασίας κλπ.

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Κόστος των αγωγών ανα τρέχον μέτρο**

Ο Γ. Νουτσόπουλος δίνει για χαλυβδοσωλήνες και αμιαντοσιμεντοσωλήνες με διαμέτρους Φ100mm τις ακόλυθες συναρτησιακές σχέσεις.

$$\text{Χαλυβδοσωλήνες } \delta = 0.767 \cdot D^{1.161}$$

$$\text{Αμιαντοσιμεντοσωλήνες } \delta = 0.211 \cdot D^{1.358}$$

Όπου $\delta$ η δαπάνη του αγωγού σε (ευρώ/m) και $D$ η εσωτερική διάμετρος του αγωγού σε mm. Οι τιμές αυτές ανάγονται στο έτος 1969. Οι διαφορές της δαπάνης μεταξύ των πραγματικών τιμών και αυτών που προκύπτουν από τις παραπάνω σχέσεις είναι της τάξης ±10%.

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων**

Σχέση της μορφής:

$$\delta = \mathrm{A} \cdot D^{\nu}$$

Λογαριθμίζοντας την παραπάνω σχέση προκυπτει ότι:

$$\ln \delta = \ln \mathrm{A} \cdot \nu \cdot \ln \mathrm{D}$$

$$y = a + bx$$

Όπου:

$$y = \ln \delta \qquad a = \ln \mathrm{A} \qquad b = \nu \qquad x = \ln \mathrm{D}$$

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων**

$$b_{υπολ} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

Και επειδή:

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = \bar{x}n \quad \text{και} \quad \sum_{i=1}^{n} y_i = \bar{y}n$$

$$b_{υπολ} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2}$$

$$\alpha_{υπολ} = \bar{y} - b\bar{x}$$

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

**Μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων**

Ο συντελεστής συσχέτισης είναι:

$$r = b_{υπολ}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n\bar{x}^2}{\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - n\bar{y}^2}}$$

Αφού βρούμε τα:

$$\left.\begin{aligned} b_{υπολ} &= ν \\ α_{υπολ} &= \bar{y} - b\bar{x} \\ A &= e^{α_{υπολ}} \end{aligned}\right\} \quad \boxed{δ = \mathrm{A} \cdot D^{ν}}$$

| a/a | Ονομαστική διάμετρος | Πάχος | Εσωτερική διάμετρος (D) | Κόστος ανα μέτρο | ln (D) | ln(κόστος) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | $\boldsymbol{x_i}$ | $\boldsymbol{y_i}$ | $\boldsymbol{x_i \cdot y_i}$ | $\boldsymbol{x_i^2}$ |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| … | | | | | | | | |
| … | | | | | | | | |
| n | | | | | $\sum_{i=1}^{n} x_i$ | $\sum_{i=1}^{n} y_i$ | $\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot y_i$ | $\sum_{i=1}^{n} x_i^2$ |
| | | | | | $\bar{x}$ | $\bar{y}$ | | |
| | | | | | | | | |

# 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

## ΑΣΚΗΣΗ 5$^{\eta}$

Σωλήνες υπογείων δικτύων από **PVC-u 100** κατά DIN 8061/8062 & ΕΛΟΤ 9

| Πίεση λειτουργίας (atm) | | PN 6 | | PN 10 | | PN 12,5 | | PN 16 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ονομαστική διάμετρος Ø (mm) | Εξωτερική διάμετρος Ø (mm) | Κόστος ανά μέτρο αγωγού (€/m) | Πάχος τοιχώματος (mm) | Κόστος ανά μέτρο αγωγού (€/m) | Πάχος τοιχώματος (mm) | Κόστος ανά μέτρο αγωγού (€/m) | Πάχος τοιχώματος (mm) | Κόστος ανά μέτρο αγωγού (€/m) | Πάχος τοιχώματος (mm) |
| 75 | 75 | 2,70 | 2,20 | 4,80 | 3,60 | 5,70 | | 6,20 | 5,60 |
| 90 | 90 | 3,90 | 2,70 | 6,00 | 4,30 | 7,00 | 5,30 | 7,80 | 6,70 |
| 110 | 110 | 5,60 | 3,20 | 7,50 | 5,30 | 8,90 | 6,50 | 9,80 | 8,20 |
| 140 | 140 | 8,10 | 4,10 | 12,40 | 6,70 | 14,00 | 8,20 | 16,20 | 10,40 |
| 160 | 160 | 10,80 | 4,70 | 14,60 | 7,70 | 17,30 | 9,40 | 21,60 | 11,90 |
| 200 | 200 | 14,00 | 5,90 | 20,50 | 9,60 | 25,90 | 11,80 | 30,20 | 14,90 |
| 225 | 225 | 17,30 | 6,60 | 27,00 | 10,80 | 31,30 | 13,20 | 37,80 | 16,70 |
| 280 | 280 | 29,20 | 8,20 | 43,20 | 13,40 | 51,80 | 16,50 | 62,60 | 20,80 |
| 315 | 315 | 34,60 | 9,20 | 54,00 | 15,00 | 64,80 | 18,50 | 75,60 | 23,40 |
| 355 | 355 | 41,00 | 10,40 | 64,80 | 16,90 | 77,80 | 20,90 | 91,80 | 26,30 |
| 400 | 400 | 52,00 | 11,70 | 81,00 | 19,10 | 97,20 | 23,50 | 113,00 | 29,70 |
| 450 | 450 | 64,00 | 13,20 | 97,00 | 21,50 | 119,00 | 26,50 | 141,00 | |
| 500 | 500 | 81,00 | 14,60 | 119,00 | 23,90 | 140,00 | 29,40 | 173,00 | |