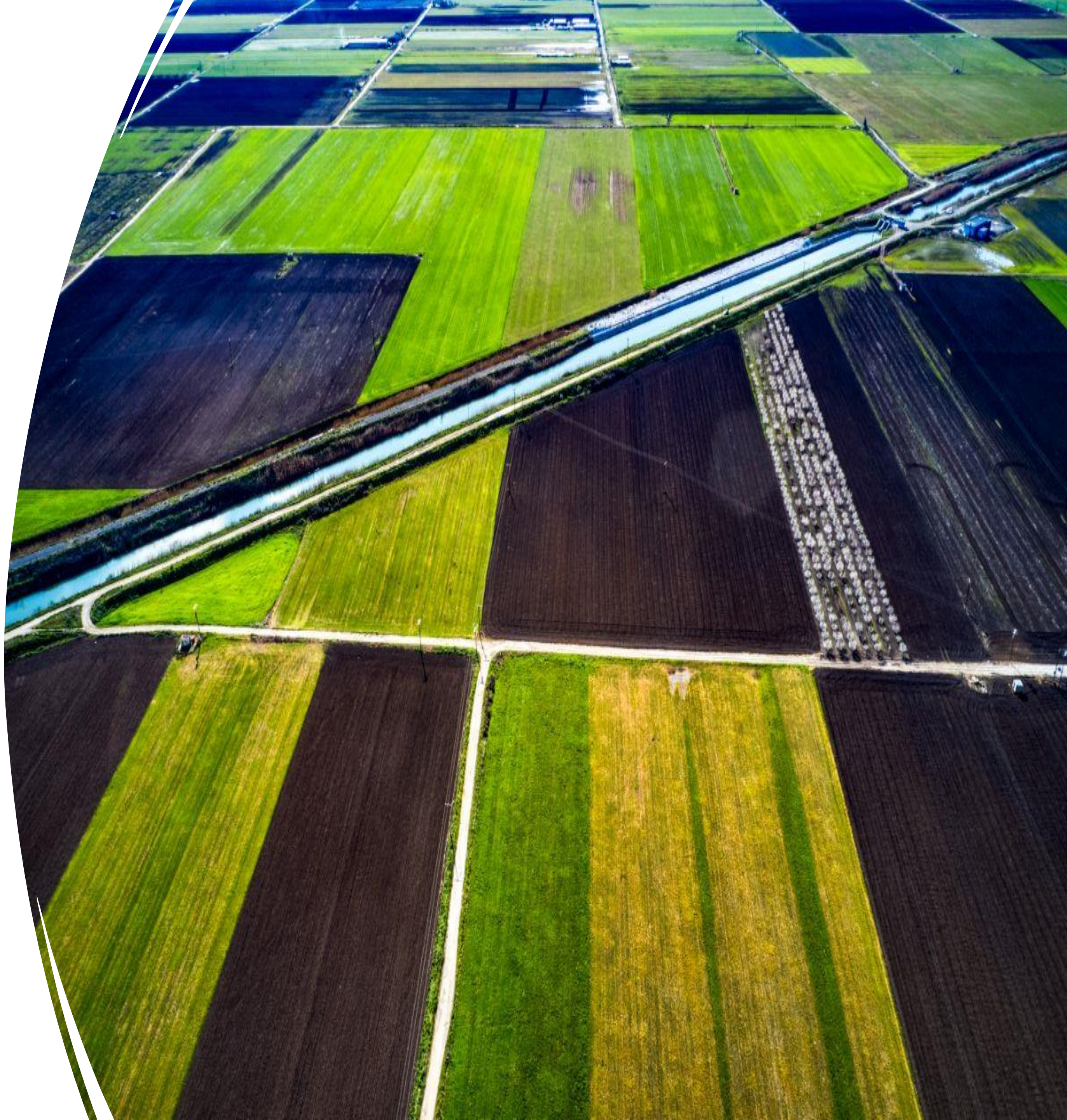
ΕΓΓΕΙΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

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



3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Περίπτωση τυχόντος ακτινωτού δικτύου

Στην περίπτωση αυτήν έχουμε για επίλυση τις παρακάτω εξισώσεις (1) και (2)

$$\omega \cdot y \cdot z \cdot \left[\frac{\varphi_i}{\Delta h_i}\right]^{\omega} = \sum_{j=1}^{k} \lambda_j \qquad (i = 1,2,3,\ldots,n) \qquad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{j} \Delta h_i - \left(H_0 - H_j\right) = 0 \qquad (j = 1,2,3,\ldots,k) \qquad (2)$$

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Περίπτωση τυχόντος ακτινωτού δικτύου

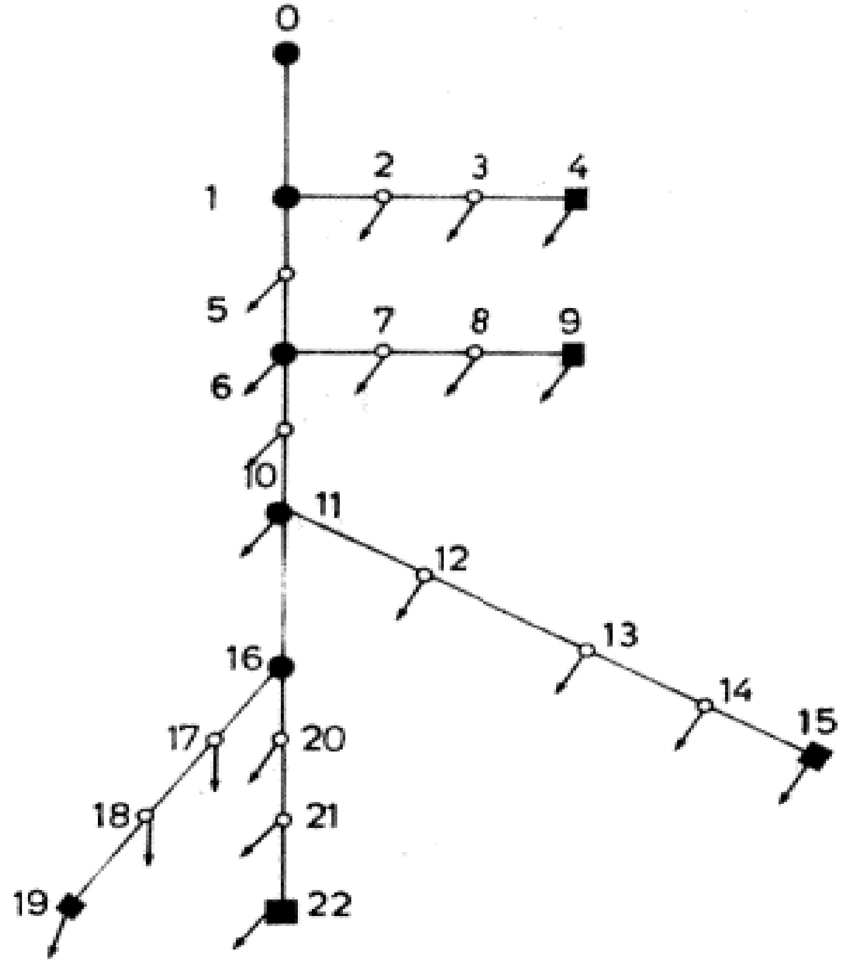
Για να προχωρήσουμε τώρα στην επίλυση των εξισώσεων (1) και (2) κάνουμε τις παρακάτω απλοποιήσεις:

- Θεωρούμε ότι το δίκτυο μας αποτελείται **μόνο** απο κλάδους και απαλείφοντας έτσι τους απλούς κόμβους διατηρούμε **μόνο** τους κόμβους διακλάδωσης.
- Κάθε κόμβος διακλαδώσεως του δικτύου χαρακτηρίζεται με το γράμμα *j* και αριθμείται απο τα ανάντη προς τα κατάντη με τους αριθμούς *1,2,3,...,n* όπου *n* είναι ο συνολικός αριθμός των κόμβων διακλαδώσεως του δικτύου.

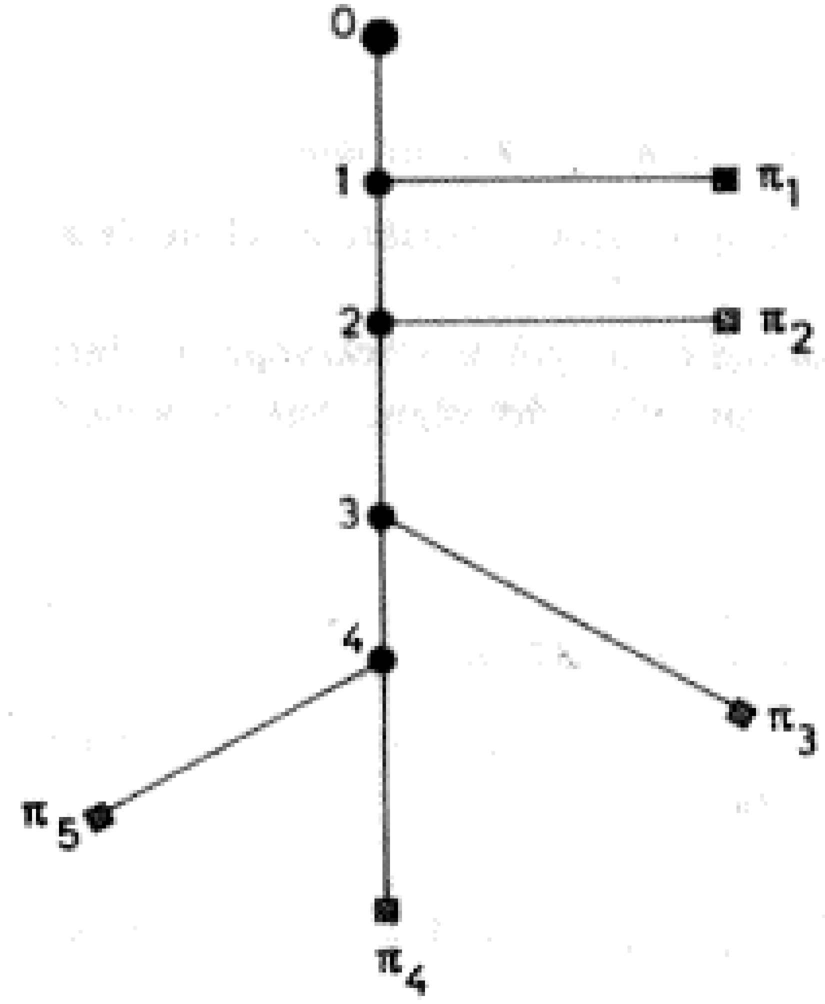
3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Περίπτωση τυχόντος ακτινωτού δικτύου

Ακτινωτό δίκτυο



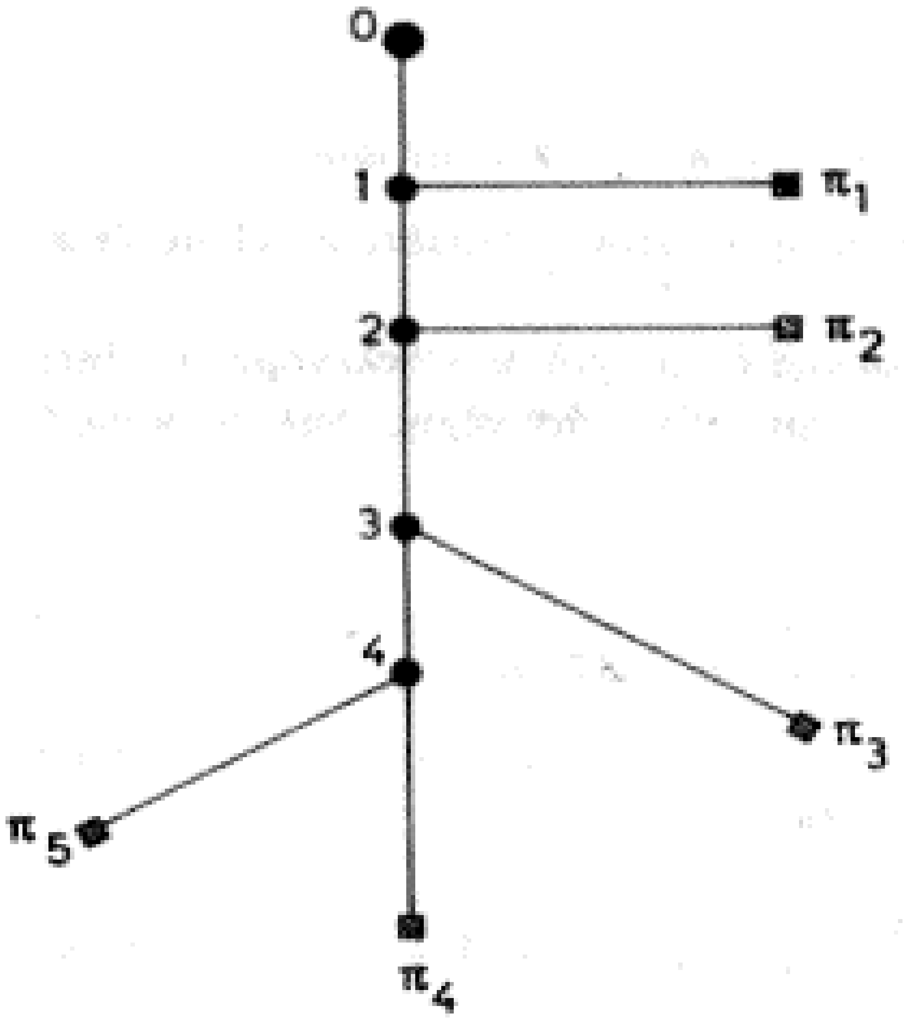
Ιδεατό Ακτινωτό δίκτυο



3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Περίπτωση τυχόντος ακτινωτού δικτύου

Κάθε πέρας του δικτύου χαρακτηρίζεται με το γράμμα π_j και αριθμείται απο τα ανάντη προς τα κατάντη με τους αριθμούς π_1, π_2,…, π_κ, όπου k είναι ο συνολικός αριθμός περάτων του δικτύου. Κάθε κλάδος χαρακτηρίζεται με τον αριθμό του κατάντη κόμβου διακλαδώσεως ή πέρατος. Έτσι στο σχήμα έχουμε τους κλάδους 1,2,3,4, π_1, π_2, π_3, π_4 και π_5.



3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Έχουμε δει την σχέση:

$$\mathit{\Delta} h_i = (H_0 - H_n)\frac{\varphi_i}{\sum_{i=1}^{n} \varphi_i}$$

που **ισχύει μόνο για κλάδο με πολλούς αγωγούς στη σειρά**. Η σχέση αυτή γράφεται και ως εξής:

$$\mathit{\Delta} h_i = \mathit{\Delta} H \frac{\varphi_i}{\mathit{\Phi}} \qquad (3)$$

όπου θέσαμε $\mathit{\Delta} H = (H_0 - H_n)$ και $\Phi = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i$.

Στην προκειμένη περίπτωση θεωρούμε ότι κάθε κλάδος του δικτύου μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα **ανεξάρτητο δίκτυο με αγωγούς στη σειρά**, του οποίου το ανάντη πιεζομετρικό φορτίο αντιστοιχεί στο H_0 ενώ το κατάντη στο H_n.

Απο τη σχέση (3) προκύπτει ότι:

$$\frac{\varphi_i}{\mathit{\Delta} h_i} = \frac{\Phi}{\mathit{\Delta} H}$$

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Τη σχέση αυτή αντικαθιστούμε στην (1) και παίρνουμε:

$$\omega \cdot y \cdot z \cdot \left[\frac{\Phi_i}{\Delta \mathrm{H}_i}\right]^{\omega} = \sum_{j=1}^{k} \lambda_j \qquad (i = 1,2,3,\dots,n) \tag{4}$$

Ο δείκτης *i* αναφέρεται πλέον στους κλάδους του δικτύου.

Ας δούμε τώρα τη σημασία του πολλαπλασιαστή του Lagrange λ_j. Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο μάθημα ο συντελεστής αυτός αντιστοιχεί στη συνάρτηση:

$$f_j = \sum_{i=1}^{j} \Delta h_i - \left(H_0 - H_j\right) = 0$$

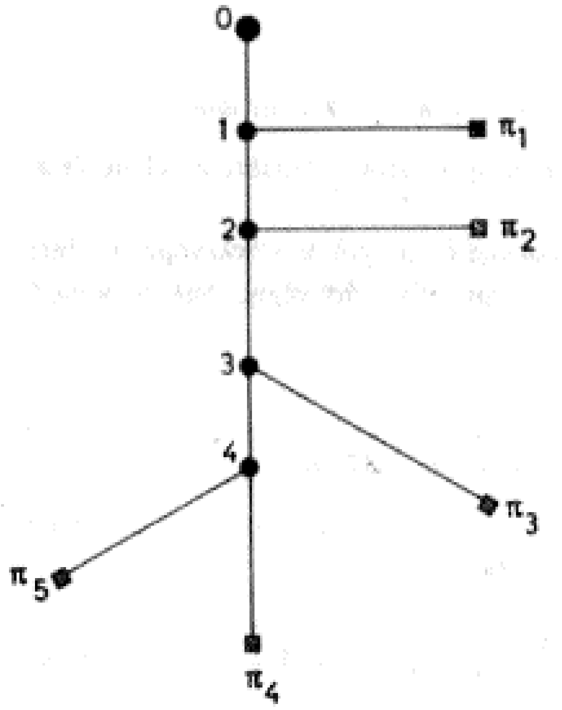
Η συνάρτηση όμως αυτή σημαίνει ότι κατα μήκος μιας πλήρης διαδρομής του δικτύου το άθροισμα των απωλειών φορτίου όλων των αγωγών ισούται με τη διαφορά των πιεζομετρικών φορτίων αρχής και πέρατος.

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Για την περίπτωση που χρησιμοποιούμε κλάδους αντι αγωγούς η συνάρτηση f_j γράφεται:

$$f_j = \sum_{i=1}^{j} \Delta H_i - \left(H_0 - H_j\right) = 0$$

Με βάση το σχήμα τώρα παρατηρούμε ότι σε **ένα κλάδο** του δικτύου αντιστοιχούν τόσες πλήρεις διαδρομές όσα είναι τα κατάντη αυτού πέρατα.



Έτσι για παράδειγμα:

- στον **κλάδο 2** αντιστοιχούν οι πλήρεις διαδρομές $0-\pi_2$, $0-\pi_3, 0-\pi_4$ και $0-\pi_5$.
- στον **κλάδο 3** αντιστοιχούν οι πλήρεις διαδρομές $0-\pi_3$, $0-\pi_4$ και $0-\pi_5$.
- στον **κλάδο $\boldsymbol{\pi_1}$** αντιστοιχεί μόνο η διαδρομή $0-\pi_1$.
- στον **κλάδο $\boldsymbol{\pi_2}$** αντιστοιχεί η πλήρης διαδρομή $0-\pi_2$.

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Αν λοιπόν γράψουμε την εξίσωση (4) για ένα κλάδο πέρατος π_j θα γράψουμε:

$$\omega \cdot y \cdot z \cdot \left[\frac{\Phi_i}{\Delta H_i}\right]^{\omega} = \sum_{j=1}^{k} \lambda_j \longrightarrow \omega \cdot y \cdot z \cdot \left[\frac{\Phi\pi_j}{\Delta H\pi_j}\right]^{\omega} = \lambda\pi_j$$

Όπου το $\lambda\pi_j$ αντιστοιχεί στη διαδρομή 0-π_j. Έτσι αντί για την εξίσωση (4) μπορούμε να έχουμε τώρα τις εξισώσεις:

$$\omega \cdot y \cdot z \cdot \left[\frac{\Phi_i}{\Delta H_i}\right]^{\omega} = \sum_{j=1}^{k} \lambda\pi_j \qquad (i = 1,2,3,\ldots,n)$$

$$\omega \cdot y \cdot z \cdot \left[\frac{\Phi\pi_j}{\Delta H\pi_j}\right]^{\omega} = \lambda\pi_j \qquad (j = 1,2,3,\ldots,k)$$

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Απο τις δυο αυτές εξισώσεις προκύπτει:

$$\boxed{\left[\frac{\Phi}{\Delta H_i}\right]^{\omega} = \sum_{j=1}^{k}\left[\frac{\Phi\pi_j}{\Delta H\pi_j}\right]^{\omega}} \qquad (i = 1,2,3,\dots,n)$$

η δε άθροιση νοείται για τα πέρατα που βρίσκονται κατάντη του κόμβου *i*, έτσι π.χ αν αναφερθούμε για τον κόμβου 3 του δικτύου η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$\left[\frac{\Phi_3}{\Delta H_3}\right]^{\omega} = \left[\frac{\Phi\pi_3}{\Delta H\pi_3}\right]^{\omega} + \left[\frac{\Phi\pi_4}{\Delta H\pi_4}\right]^{\omega} + \left[\frac{\Phi\pi_5}{\Delta H\pi_5}\right]^{\omega} \qquad \text{κ.ο.κ}$$

Η εξίσωση τώρα:

$$f_j = \sum_{i=1}^{j}\Delta H_i - \left(H_0 - H_j\right) = 0 \longrightarrow \sum \Delta H_i + \Delta H\pi_j - \left(H_0 - H\pi_j\right) = 0$$

Όπου η άθροιση $\sum$ νοείται μέχρι και του κλάδου ανάντη του κλάδου π_j.

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Τελικά λοιπόν το αρχικό σύστημα:

$$\omega \cdot y \cdot z \cdot \left[\frac{\varphi_i}{\Delta \mathrm{h}_i}\right]^{\omega} = \sum_{j=1}^{k} \lambda_j \qquad (i = 1,2,3, \dots, n)$$

$$\sum_{i=1}^{j} \Delta h_i - \left(H_0 - H_j\right) = 0 \qquad (j = 1,2,3, \dots, k)$$

$$\left[\frac{\Phi_i}{\Delta H}\right]^{\omega} = \sum_{j=1}^{k} \left[\frac{\Phi\pi_j}{\Delta H\pi_j}\right]^{\omega} \qquad (i = 1,2,3, \dots, n)$$

$$\sum \Delta H_i + \Delta H\pi_j - \left(H_0 - H\pi_j\right) = 0$$

Απαλήφτηκε η παράμετρος λ

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Επίλυση του συστήματος

Για την επίλυση των εξισώσεων

$$\boxed{\begin{gathered}\left[\frac{\Phi_i}{\Delta H_i}\right]^{\omega} = \sum_{j=1}^{k}\left[\frac{\Phi\pi_j}{\Delta H\pi_j}\right]^{\omega} \qquad (i = 1,2,3,\ldots,n) \\ \sum \Delta H_i + \Delta H\pi_j - \left(H_0 - H\pi_j\right) = 0\end{gathered}}$$

γράφουμε την εξίσωση:

$$\sum \Delta H_i + \Delta H\pi_j - \left(H_0 - H\pi_j\right) = 0 \longrightarrow \Delta H\pi_j = \left(H_0 - H\pi_j\right) - \sum \Delta H_i$$

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Επίλυση του συστήματος

Και αντικαθιστούμε την τιμή αυτήν στην εξίσωση:

$$\left[\frac{\Phi_i}{\Delta H_i}\right]^{\omega} = \sum_{j=1}^{k}\left[\frac{\Phi\pi_j}{\Delta H\pi_j}\right]^{\omega} \longrightarrow \left[\frac{\Phi_i}{\Delta H}\right]^{\omega} = \sum_{j=1}^{k}\left[\frac{\Phi\pi_j}{(H_0 - H\pi_j) - \sum \Delta H_i}\right]^{\omega}$$

Εισάγουμε τώρα τις παρακάτω βοηθητικές παραστάσεις:

$$F_i = F_i(\Delta H_i) = \left[\frac{\Phi_i}{\Delta H_i}\right]^{\omega} \qquad G_i = G_i(\Delta H_i) = \sum_{j=1}^{k}\left[\frac{\Phi\pi_j}{(H_0 - H\pi_j) - \sum \Delta H_i}\right]^{\omega}$$

Οπότε το σύστημα που είδαμε γίνεται:

$$F_i(\Delta H_i) = G_i(\Delta H_i) \qquad (i = 1,2,3,\dots,n)$$

Το παραπάνω σύστημα είναι **μη γραμμικό** με αγνώστους τα ΔH_i και λύνεται με επαναληπτικές μεθόδους.

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Επίλυση του συστήματος – Μέθοδος επίλυσης

Για να καθορίσουμε την αρχική ακολουθία των τιμών $\Delta H_i^{(i)}$ της πρώτης προσεγγίσεως εφαρμόζουμε την **μέθοδο της ελάχιστης μέσης κλίσης.** Απο όλες τις πλήρεις διαδρομές εκλέγουμε αυτή, που δίνει την ελάχιστη μέση κλίση:

$$min\ S_\mu = min \frac{H_0 - H\pi_j}{\sum_{i=1}^{j} L}$$

και υπολογίζουμε τα ΔH_i των τροφοδοτούντων κλάδων, που ανήκουν σ'αυτήν την πλήρη διαδρομή απο τη σχέση:

$$\Delta H_i = min\ S_\mu L_i$$

όπου L_i είναι το μήκος των αγωγών του κλάδου *i*.

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Επίλυση του συστήματος – Μέθοδος επίλυσης

Με βάση τώρα αυτές τις τιμές υπολογίζουμε την **πιεζομετρική γραμμή των κόμβων διακλαδώσεως**, που ανήκουν στην πλήρη διαδρομή, που έχει **την ελάχιστη μέση κλίση**. Στην συνέχεια το δίκτυο υποδιαιρείται σε **υποδίκτυα** με αφετηρίες τους παραπάνω κόμβους διακλάδωσης και σε κάθε υποδίκτυο εφαρμόζουμε πάλι τη μέθοδο της ελάχιστης μέσης κλίσης. Έτσι υπολογίζουμε τα $\Delta H_i^{(i)}$ για όλους τους κλάδους. Αυτά αποτελούν τις πρώτες τιμές στον κύκλο των επαναλήψεων για τις επαναληπτικές μεθόδους.

Όταν έχουμε υπολογίσει επιτυχώς τα ΔH_i για όλους τους κλάδους του δικτύου, στη συνέχεια υπολογίζουμε τα Δh_i των αγωγών από την σχέση:

$$\Delta h_i = \Delta H \frac{\varphi_i}{\Phi}$$

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Επίλυση του συστήματος – Μέθοδος επίλυσης

και κάνουμε επίσης τον έλεγχο της οικονομικής λύσης με τους περιορισμούς του προβλήματος:

$$\sum_{i=1}^{k} \Delta h_i \leq (H_0 - H_k) \quad \text{για όλους τους κόμβους του δικτύου}$$

Επειδή όμως η πιεζομετρική γραμμή, που προκύπτει με τη μέθοδο της ελάχιστης μέσης κλίσης αποτελεί άριστη προσέγγιση της οικονομικής πιεζομετρικής γραμμής, ο παραπάνω έλεγχος του συμβιβαστού μπορεί να γίνει και σε αυτό το προκαταρκτικό στάδιο. Ο υπολογισμός των διαμέτρων των αγωγών θα γίνει στη συνέχεια από τη σχέση:

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

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

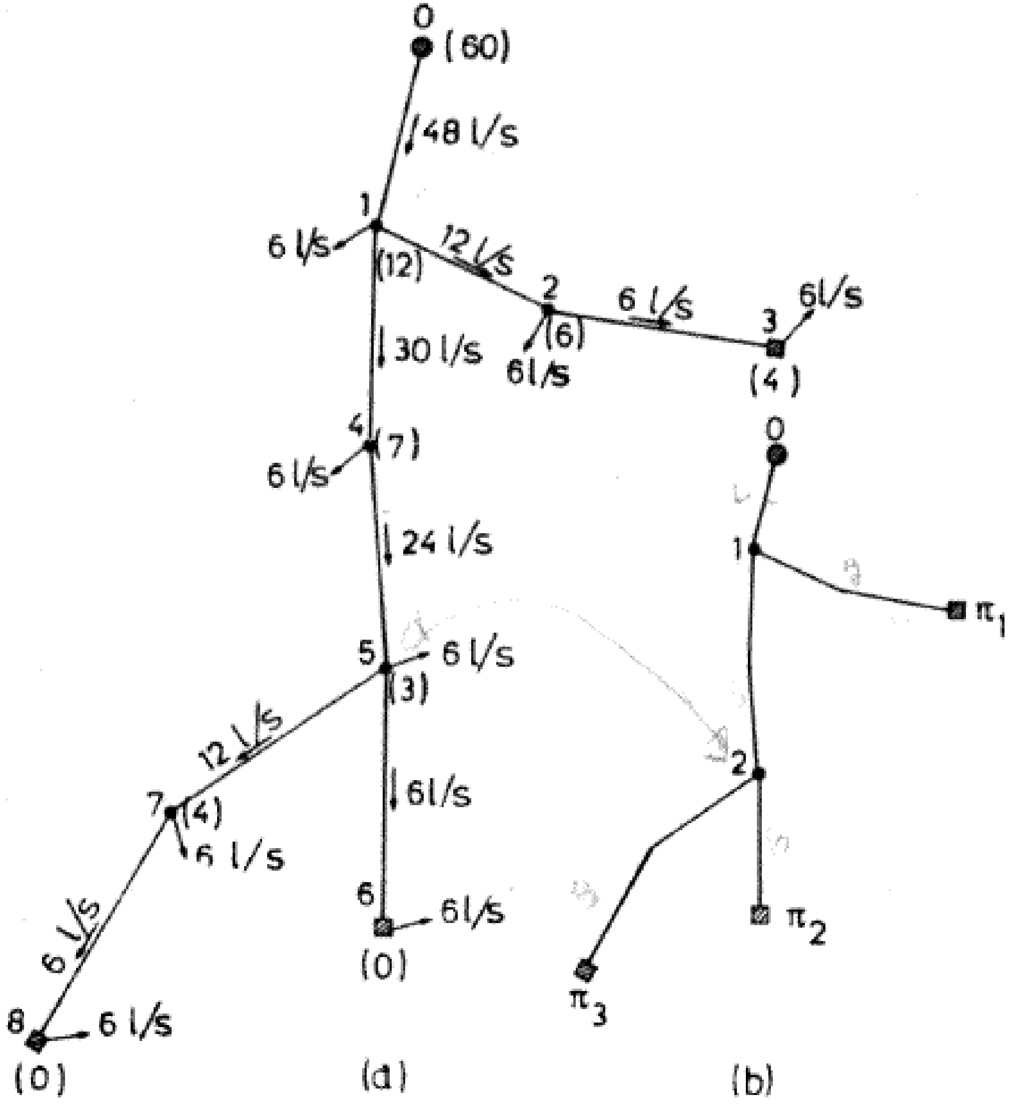
Αριθμητική εφαρμογή

Δίνεται το διπλανό δίκτυο.

Οι παραδοχές των υδροστομίων και των αγωγών έχουν υπολογιστεί με τη μέθοδο του Clement και πρέπει να υπολογίσουμε τις οικονομικές διαμέτρους του δικτύου. Σαν υλικό των αγωγών εκλέγουμε αμιαντοτσιμεντοσωλήνες με ονομαστική πίεση 12.5 atm. Όλα τα χαρακτηριστικά κόστους, ροής κλπ έχουν υπολογιστεί σε προηγούμενα παραδείγματα και προκύπτει η σχέση:

$$\varphi_i = 95.41 \cdot l_i \cdot Q^{0.4386}$$

που ισχύει για κάθε αγωγό του δικτύου.



Σχ. 11. a) ἀρχικό. b) ἰδεατό δίκτυο.

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Αριθμητική εφαρμογή

Με βάση την προηγούμενη σχέση κατασκευάζεται ο παρακάτω πίνακας:

Αγωγοί	h_i **(m)**	l_i **(m)**	Q_i **(lt/s)**	φ_i
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	37	500	48	12593.78
2	31	500	12	6856.35
3	29	600	6	6079.75
4	32	600	30	12297.32
5	28	600	24	11150.32
6	25	700	6	7082.54
7	29	700	12	9598.90
8	25	700	6	7082.54

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Αριθμητική εφαρμογή

Βρίσκουμε στη συνέχεια την **ελάχιστη μέση κλίση** όλων των πλήρων διαδρομών του ιδεατού δικτύου που είναι οι $0-\pi_1,\ 0-\pi_2, 0-\pi_3$. Έχουμε λοιπόν:

$$S_{\mu 1=}\frac{H_0-H_{\pi 1}}{\Sigma\, l_i}=\frac{60-29}{1600}=0.0225$$

$$S_{\mu 2=}\frac{H_0-H_{\pi 2}}{\Sigma\, l_i}=\frac{60-25}{2400}=0.01458$$

$$S_{\mu 3=}\frac{H_0-H_{\pi 3}}{\Sigma\, l_i}=\frac{60-25}{3100}=0.0113$$

Τα πιεζομετρικά φορτία $H_{\pi 1}$, $H_{\pi 2}$, $H_{\pi 3}$ είναι τα ελάχιστα απαιτούμενα φορτία στα πέρατα του δικτύου και προκύπτουν από τη στήλη 2 του προηγούμενου πίνακα, που μας δίνει επίσης και τα απαιτούμενα φορτία για τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου.

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Αριθμητική εφαρμογή

Όμως προκύπτει από τα προηγούμενα, ότι η ελάχιστη μέση κλίση αντιστοιχεί στη διαδρομή $0-\pi_3$ και βάση αυτήν προκύπτουν τα $\Delta H_1, \Delta H_2$, $\Delta H_{\pi 1}$, $\Delta H_{\pi 2}$ και $\Delta H_{\pi 3}$ σαν αρχικές τιμές της πρώτης προσέγγισης, είναι δηλαδή:

$$\boldsymbol{\Delta H_1} = 5.64m, \boldsymbol{\Delta H_2} = 13.54m,$$
$$\boldsymbol{\Delta H_{\pi 1}} = 25.35m, \boldsymbol{\Delta H_{\pi 2}} = 15.81m, \boldsymbol{\Delta H_{\pi 3}} = 15.81m$$

Οι παράμετροι $\Phi = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i$ προκύπτουν ως εξής:

$$\boldsymbol{\Phi_1} = \varphi_1$$
$$\boldsymbol{\Phi_2} = \varphi_4 + \varphi_5$$
$$\boldsymbol{\Phi_{\pi 1}} = \varphi_2 + \varphi_3$$
$$\boldsymbol{\Phi_{\pi 2}} = \varphi_6$$
$$\boldsymbol{\Phi_{\pi 3}} = \varphi_7 + \varphi_8$$

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Αριθμητική εφαρμογή

Με βάση αυτές τις τιμές οι εξισώσεις που προκύπτουν είναι:

$$\left[\frac{\Phi_1}{\Delta H_1}\right]^{\omega} = \left[\frac{\Phi_{\pi 1}}{\Delta H_{\pi 1}}\right]^{\omega} + \left[\frac{\Phi_{\pi 2}}{\Delta H_{\pi 2}}\right]^{\omega} + \left[\frac{\Phi_{\pi 3}}{\Delta H_{\pi 3}}\right]^{\omega}$$

$$\left[\frac{\Phi_2}{\Delta H_2}\right]^{\omega} = \left[\frac{\Phi_{\pi 2}}{\Delta H_{\pi 2}}\right]^{\omega} + \left[\frac{\Phi_{\pi 3}}{\Delta H_{\pi 3}}\right]^{\omega} \qquad \omega = 1.32559$$

$$\Delta H_{\pi 1} = (H_0 - H_{\pi 1}) - \Delta H_1 = 31 - \Delta H_1$$

$$\Delta H_{\pi 2} = (H_0 - H_{\pi 2}) - (\Delta H_1 + \Delta H_2) = 35 - (\Delta H_1 + \Delta H_2)$$

$$\Delta H_{\pi 3} = (H_0 - H_{\pi 3}) - (\Delta H_1 + \Delta H_2) = 35 - (\Delta H_1 + \Delta H_2)$$

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΣΩΛΗΝΩΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

ΑΣΚΗΣΗ

Αγωγοί	h_i (m)	l_i (m)	Q_i (lt/s)
(1)	(2)	(3)	(4)
1	47	500	58
2	41	600	22
3	49	600	16
4	42	500	10
5	38	700	35
6	35	700	25
7	39	700	16
8	35	500	32
9	37	600	30
10	31	500	25
11	29	500	20
12	32	500	16
13	28	800	25
14	25	600	16
15	29	500	20
16	25	500	16