



Υδραυλικός Υπολογισμός Βροχωτών Δικτύων

Π. Σιδηρόπουλος

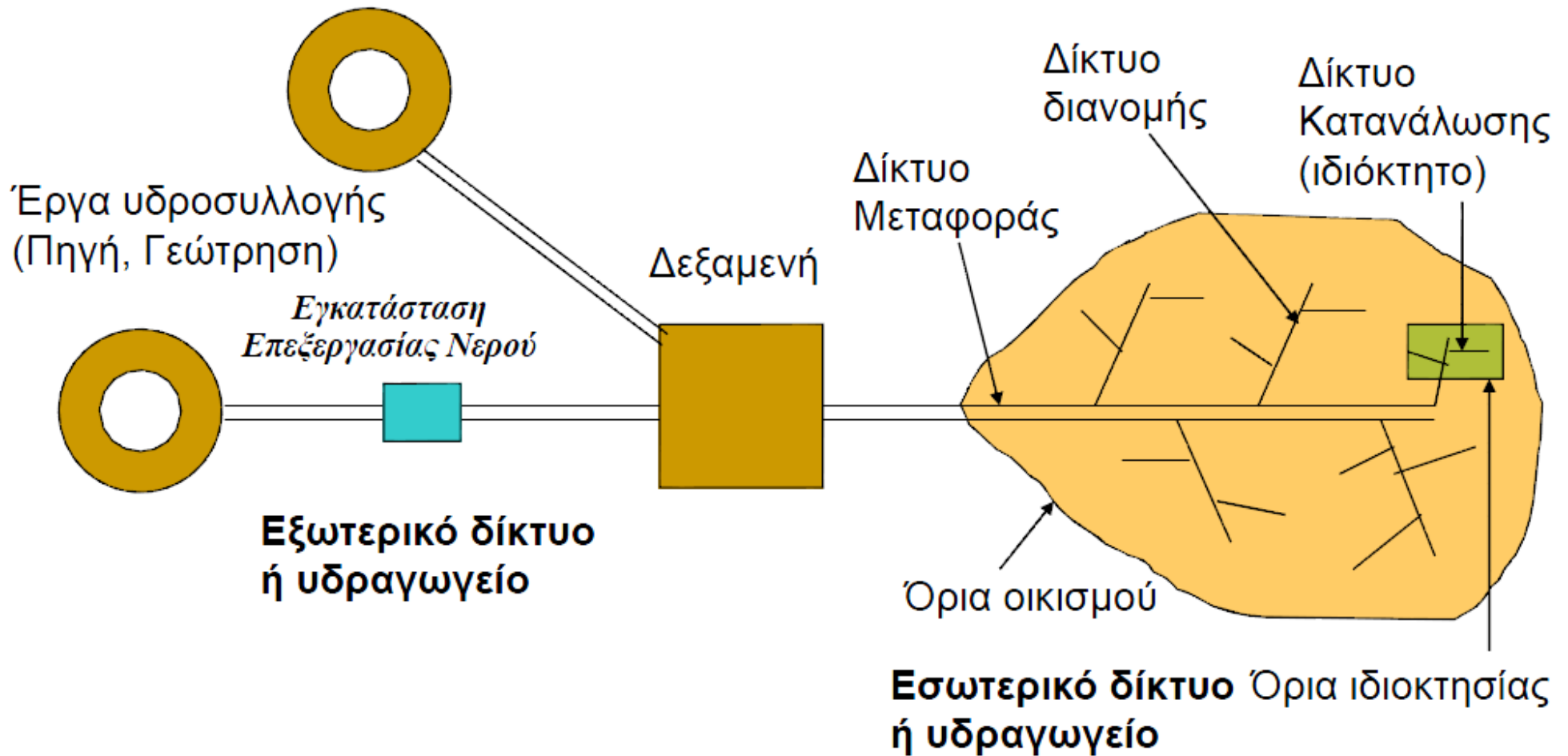
Εργαστήριο Υδρολογίας και Ανάλυσης Υδατικών Συστημάτων
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Π.Θ.

E-mail: psidirop@uth.gr



Υδρευση Οικισμού

• Συνολικό δίκτυο ύδρευσης



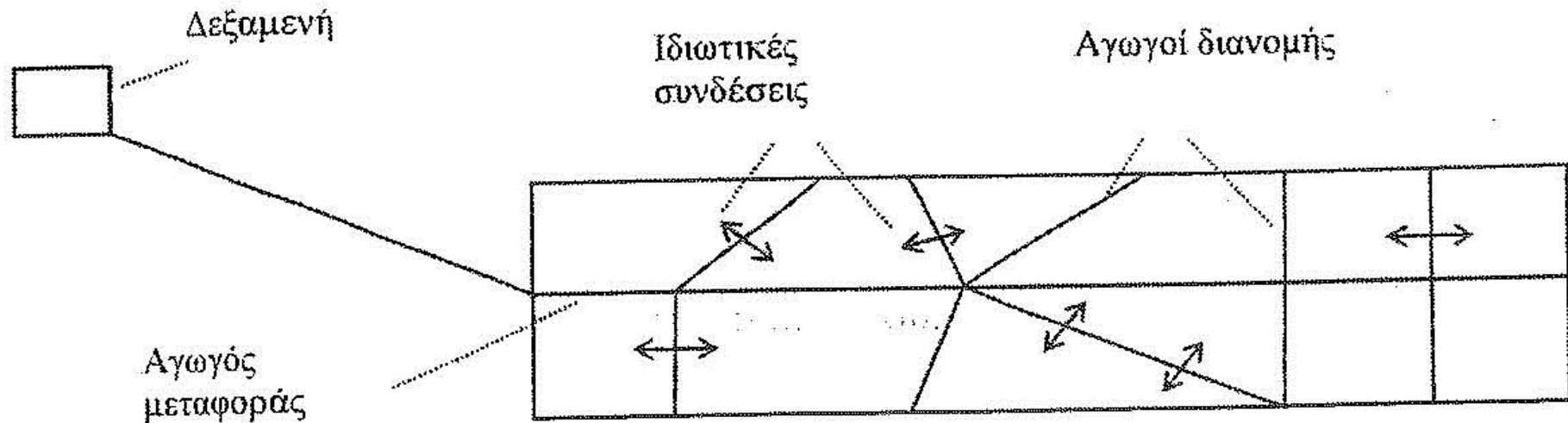
A. Ζαφειράκου, 2010



Υδρευση Οικισμού

- Δίκτυα Διανομής

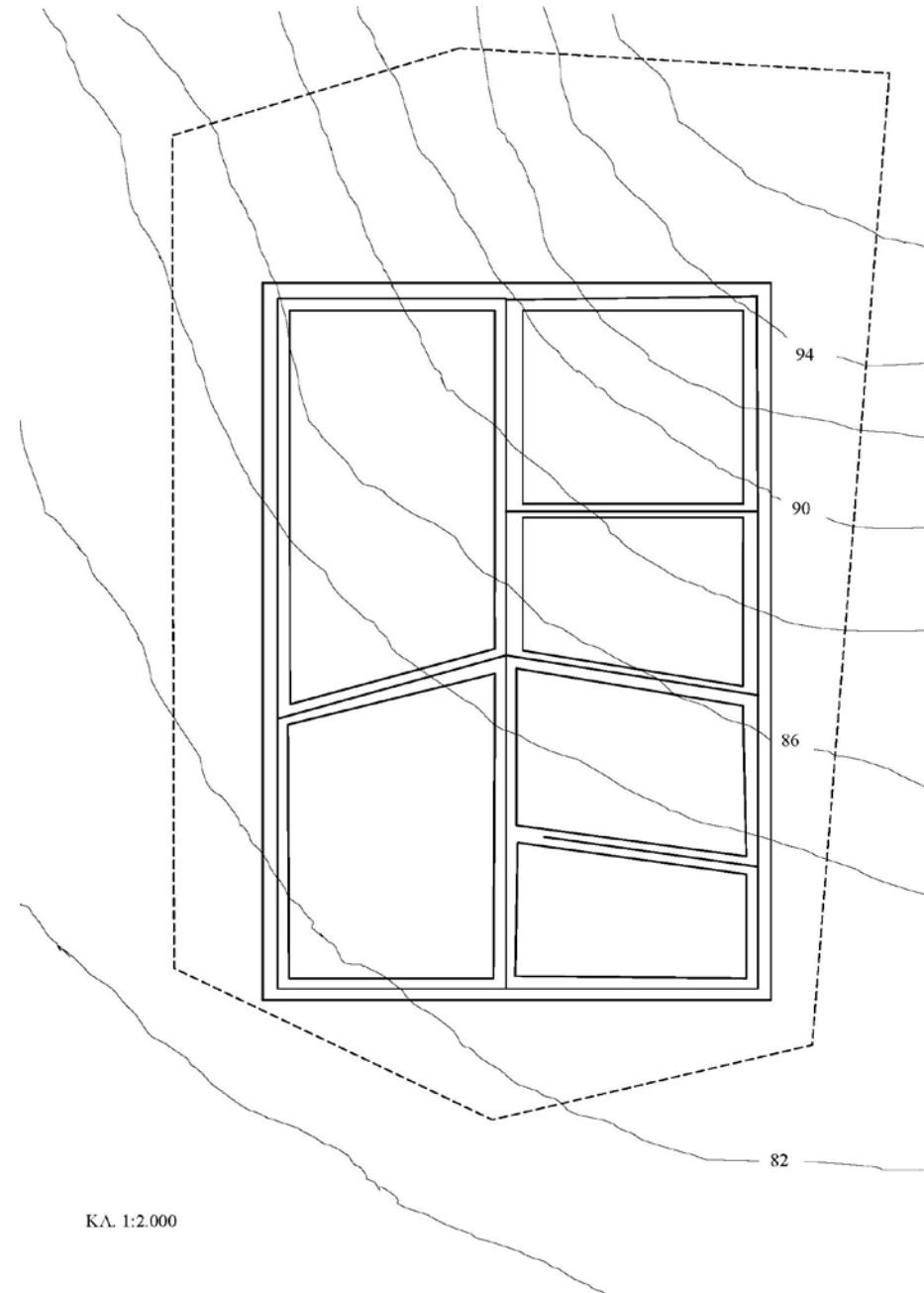
Βροχωτό ή κυκλοφορικό δίκτυο





Υδρευση Οικισμού

- Δίκτυα Διανομής
Βροχωτό ή κυκλοφορικό δίκτυο



ΚΛ. 1:2.000



Υδρευση Οικισμού

- **Δίκτυα Διανομής**

- Βροχωτό ή κυκλοφορικό δίκτυο**

- Σύγχρονο.
 - Κλειστό σύστημα σαν βρόγχος.
 - Βασικό χαρακτηριστικό → σε κάθε σημείο του οικισμού το νερό έρχεται τουλάχιστον από δύο κατευθύνσεις.
 - Μειονέκτημα → υψηλό κόστος κατασκευής
 - Μεγάλοι οικισμοί και πόλεις. Δεν υπάρχει εναλλακτική



Υδρευση Οικισμού

- Υδραυλικός Υπολογισμός Αγωγού:

- ο Εξίσωση απωλειών ενέργειας:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = J_E L$$

όπου

$$J_E = \frac{f V^2}{D 2g} \quad , \text{ η κλίση των γραμμικών απωλειών ενέργειας}$$

h_f = γραμμικές απώλειες ενέργειας σε μονάδα μήκους (m)

L , το μήκος του αγωγού (m)

D , η διάμετρος (m)

V , η μέση ταχύτητα του νερού στον αγωγό (m/s)

f , συντελεστής τριβών και

g , η επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s²)



Υδρευση Οικισμού

• Υδραυλικός Υπολογισμός Αγωγού:

ο Ανάλογα με την τιμή του αριθμού Reynolds (Re): $Re = \frac{VD}{\nu}$

όπου ν , το κινηματικό ιξώδες (m²/s)

ο συντελεστής τριβών f υπολογίζεται από τις σχέσεις:

1. Για την περίπτωση όπου ο αγωγός έχει λεία επιφάνεια και τυρβώδη ροή (Re > 80.000):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(Re \sqrt{f}) - 0.8$$

$\xrightarrow{\text{Αγωγοί Υδρευσης}}$ 2. Για τη μεταβατική περιοχή (80.000 < Re < 10⁴-10⁵) καλυπτόμαστε από την εξίσωση των Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} + \log \frac{k_s}{D} = 1.14 - 2 \log \left[1 + 9.35 \frac{D/k_s}{Re \sqrt{f}} \right]$$

3. Για την τραχεία περιοχή (Re > 10⁴-10⁵)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \frac{k_s}{D} + 1.14$$

k_s , συντελεστής τραχύτητας (m)

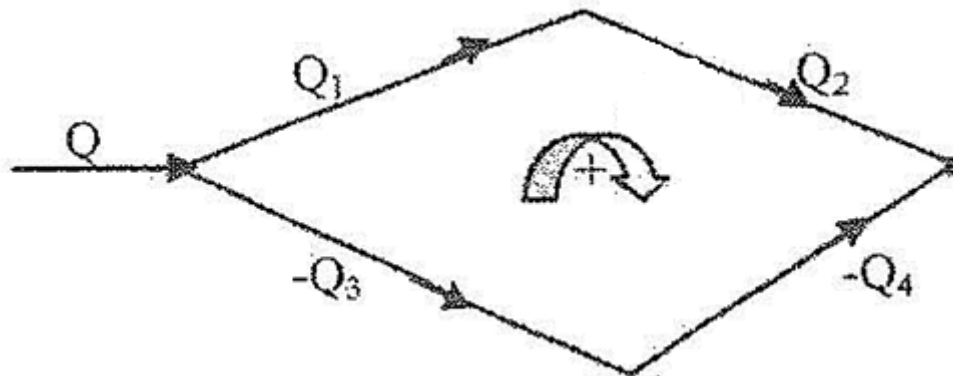


Υδρευση Οικισμού

• Υδραυλικός Υπολογισμός Βροχωτού Δικτύου:

ο Η επίλυση στηρίζεται στις εξής παραδοχές:

1. Το αλγεβρικό άθροισμα των απωλειών ενέργειας στον βρόχο πρέπει να είναι μηδέν 0.
2. Η παροχή που εισέρχεται σε μία διακλάδωση πρέπει να ισούται με αυτήν που εξέρχεται





Υδρευση Οικισμού

- **Υδραυλικός Υπολογισμός Βροχωτού Δικτύου:**

- Μέθοδος επίλυσης → Hardy Cross

- Στηρίζεται στα εξής:

- ❖ Οι γραμμικές απώλειες h_f δίνονται από την εξίσωση Darcy – Weisbach

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = f \frac{8L}{\pi^2 D^5 g} Q^2 \quad (1)$$

ονομάζοντας R την ποσότητα $R = f \frac{8L}{\pi^2 D^5 g}$ η (1) γίνεται: $h_f = RQ^2$

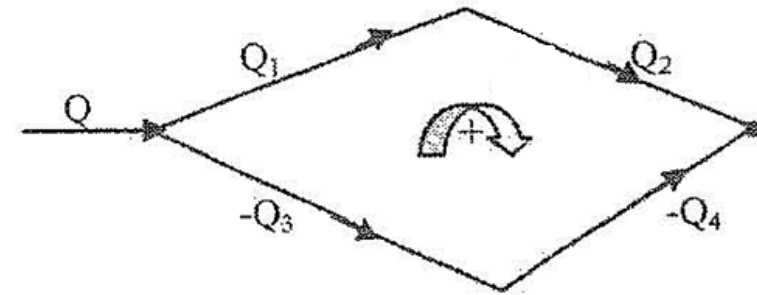


Υδρευση Οικισμού

• Υδραυλικός Υπολογισμός Βροχωτού Δικτύου:

- ❖ Έστω στο βρόχο του σχήματος, Q_i οι πραγματικές παροχές των αγωγών I και Q'_i οι εκτιμώμενες αντίστοιχες παροχές. Η διόρθωση, ΔQ , που πρέπει να γίνει στις Q' ορίζεται ως εξής:

$$\Delta Q = Q_i - Q'_i$$



- ❖ Έτσι, αν το άθροισμα των απωλειών στον βρόχο πρέπει να είναι μηδενικό, τότε προσημαίνοντας θετικά τις δεξιόστροφες παροχές στον κόμβο:

$$\sum_1^n hf = \sum_1^n RQ_i^2 = \sum_1^n R(Q'_i + \Delta Q)^2 = 0 \Rightarrow \sum_1^n (RQ'_i{}^2 + 2RQ'_i \Delta Q + R\Delta Q^2) = 0$$

- ❖ Θεωρώντας τον όρο ΔQ^2 πολύ μικρό, η πάνω σχέση γίνεται: $\sum_1^n (RQ'_i{}^2 + 2RQ'_i \Delta Q) = 0$

- ❖ Λύνοντας ως προς ΔQ :
$$\Delta Q = -\frac{\sum_1^n RQ'_i{}^2}{2\sum_1^n RQ'_i}, \quad |\Delta Q| < 0,0001 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \text{STOP}$$



Υδρευση Οικισμού

• Μεθοδολογία επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:

ο Ο υδραυλικός υπολογισμός σε ένα βροχωτό δίκτυο γίνεται με τα ακόλουθα βήματα:

1. Πρώτο βήμα: Προσδιορισμός συνολικής παροχής υπολογισμού: ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας και τις ειδικές συνθήκες κάθε προβλήματος καθορίζεται η παροχή υπολογισμού για όλο το δίκτυο (άρα και όλο τον οικισμό). Για παράδειγμα για την κατάσταση ΒΙΙ υπολογίζεται η $Q_{\omega\rho.\mu\epsilon\gamma.}^{\eta\mu.\mu\epsilon\gamma.}$

2. Δεύτερο βήμα: Υπολογισμός παροχών διανομής στους αγωγούς: ανάλογα με τον πληθυσμό ή την έκταση που εξυπηρετεί κάθε αγωγός, υπολογίζεται η παροχή διανομής του, ως ποσοστό της συνολικής παροχής υπολογισμού:

$$Q_{\delta i} = \frac{P_i}{\sum P} * Q_{\text{υπολ.}} \quad \text{ή} \quad Q_{\delta i} = \frac{E_i}{\sum E} * Q_{\text{υπολ.}}$$



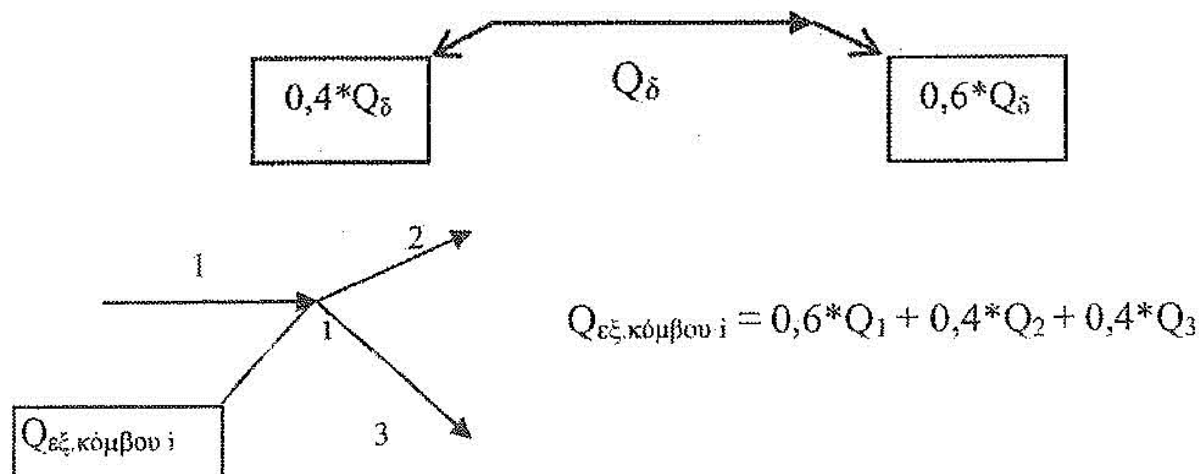
Υδρευση Οικισμού

• Μεθοδολογία επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:

ο Ο υδραυλικός υπολογισμός σε ένα βροχωτό δίκτυο γίνεται με τα ακόλουθα βήματα:

3. Τρίτο βήμα: Υπολογισμός παροχών εξόδου στους κόμβους: στο στάδιο αυτό προσημαίνονται καταρχήν οι φορές των αγωγών στους βρόχους και στη συνέχεια γίνεται η κατανομή των παροχών διανομής στους κόμβους, όπως στα ακτινωτά →

η παροχή διανομής κάθε αγωγού κατανέμεται στους κόμβους αρχής και τέλους αντίστοιχα, με την αναλογία 0,4 και 0,6. Το άθροισμα των επιμέρους παροχών εξόδου σε κάθε κόμβο θα δώσει την συνολική παροχή εξόδου του κόμβου αυτού. Εδώ προστίθενται και οι σημειακές παροχές εξόδου (π.χ. βιομηχανίες, στρατόπεδα κλπ) που δεν έχουν υπολογιστεί στις παροχές διανομής.



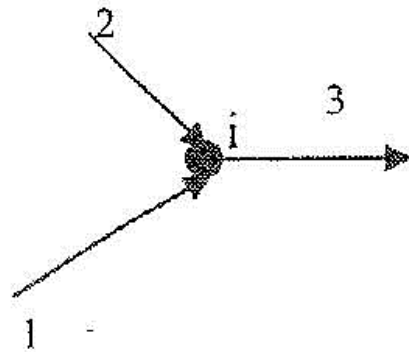


Υδρευση Οικισμού

• Μεθοδολογία επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:

ο Ο υδραυλικός υπολογισμός σε ένα βροχωτό δίκτυο γίνεται με τα ακόλουθα βήματα:

4. Τέταρτο βήμα: Υπολογισμός παροχών υπολογισμού στους αγωγούς: ξεκινώντας από τα άκρα του δικτύου και με φορά αντίθετη στη ροή (κατάντη \rightarrow ανάντη) υπολογίζεται για κάθε αγωγό η εκτιμώμενη παροχή του Q' , ως άθροισμα όλων των παροχών στα κατάντη του και της παροχής εξόδου στον κόμβο τέλους του υπόψη αγωγού:



$$Q_{1\text{υπολ.}} + Q_{2\text{υπολ.}} = Q_{3\text{υπολ.}} + Q_{\text{εξ.κόμβου } i}$$



Υδρευση Οικισμού

• Μεθοδολογία επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:

ο Ο υδραυλικός υπολογισμός σε ένα βροχωτό δίκτυο γίνεται με τα ακόλουθα βήματα:

5. Πέμπτο βήμα: Εφαρμογή της επαναληπτικής μεθόδου Hardy-Cross:

5.1. με δεδομένες τις φορές ροής και τις Q' υπολογίζεται σε κάθε βρόχο j το ΔQ_j από τις προηγούμενες εξισώσεις.

5.2. υπολογίζονται οι νέες διορθωμένες Q' σε κάθε αγωγό

5.3. επαναλαμβάνεται η διαδικασία από το 5.1. με τις νέες Q' για κάθε αγωγό σε όλους τους βρόχους

5.4. η διαδικασία σταματά όταν $|\Delta Q| < 0,0001 \text{ m}^3/\text{s}$ ή ακόμη και $|\Delta Q| < 0,001 \text{ m}^3/\text{s}$

6. Έκτο βήμα: Υδραυλικός υπολογισμός αγωγών: για τις τελικές παροχές, του προηγούμενου βήματος, υπολογίζονται τα D , V και h_f σε κάθε αγωγό.



Υδρευση Οικισμού

• Μεθοδολογία επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:

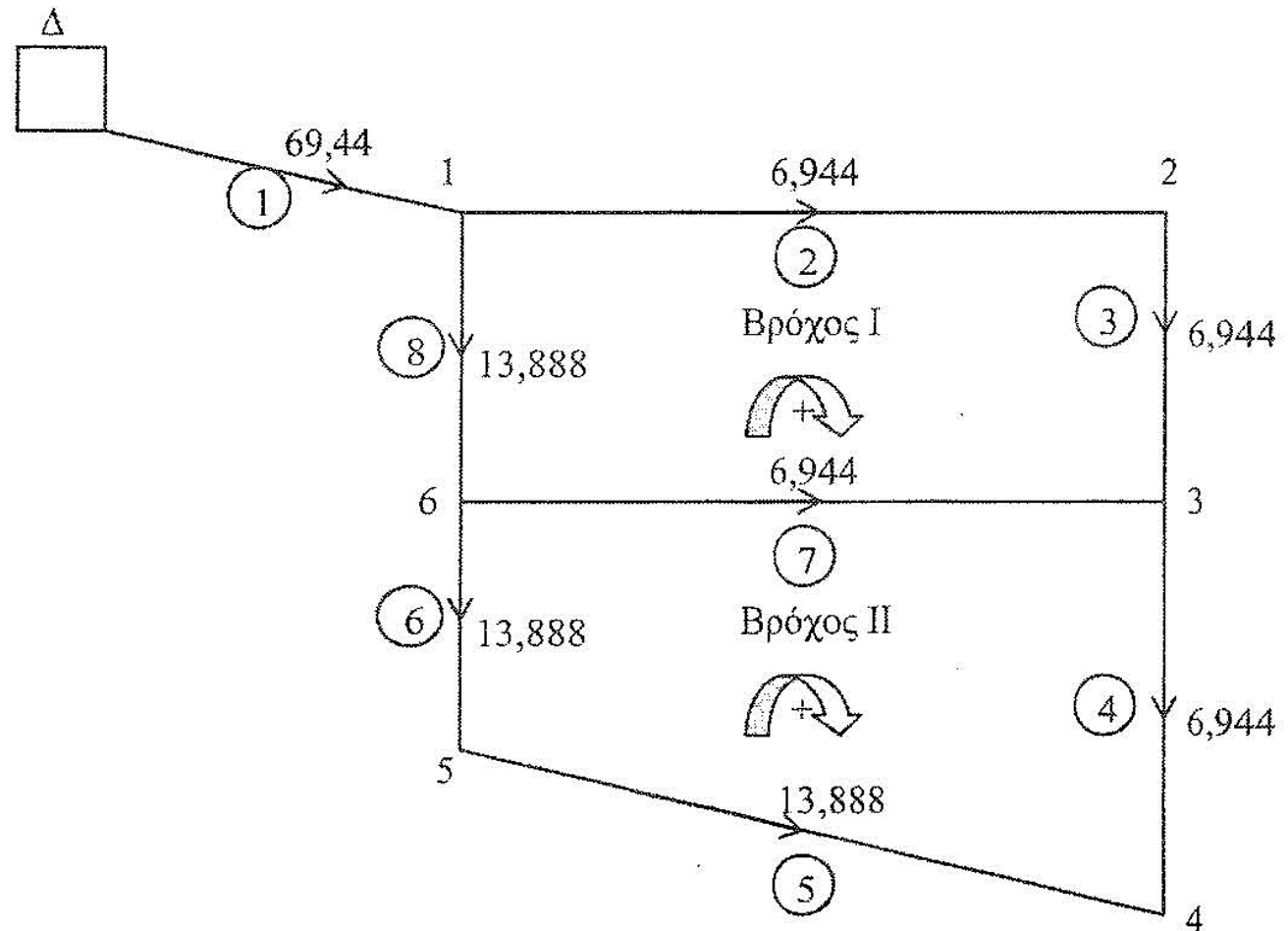
- Ο υδραυλικός υπολογισμός σε ένα βροχωτό δίκτυο γίνεται με τα ακόλουθα βήματα:
 6. **Έκτο βήμα:** Υπολογισμός διαθέσιμων φορτίων: τα διαθέσιμα φορτία σε κάθε κόμβο υπολογίζονται από τη διαφορά του αρχικού υδραυλικού φορτίου ($H_{\text{δεξαμενής}}$) με τα υψόμετρα εδάφους των κόμβων, μείον τις απώλειες h_f σε κάθε διαδρομή αγωγών.
 7. **Έβδομο βήμα:** Τελική διαστασιολόγηση: Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις 3 καταστάσεις λειτουργίας. Τα διαθέσιμα φορτία κάθε κόμβου ελέγχονται σε σχέση με τις ελάχιστες και μέγιστες επιτρεπόμενες πιέσεις και ανάλογα ελαττώνουμε ή αυξάνουμε τις αντίστοιχες διατομές.



Υδρευση Οικισμού

• Άσκηση επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:

ΕΦΑΡΜΟΓΗ: Το βροχωτό δίκτυο του σχήματος υδρεύει οικισμό με συνολική παροχή 69,44 l/s. Οι παροχές διανομής φαίνονται επίσης στο σχήμα, όπως υπολογίστηκαν και προσημάνθηκαν οι αγωγοί με τις φορές του σχήματος. Να γίνει ο υδραυλικός υπολογισμός του δικτύου για την κατάσταση λειτουργίας ΒΙΙ, με συντελεστή απωλειών $f = 0,016$, χωρίς να ληφθεί υπόψη η μελλοντική αύξηση της κατανάλωσης.



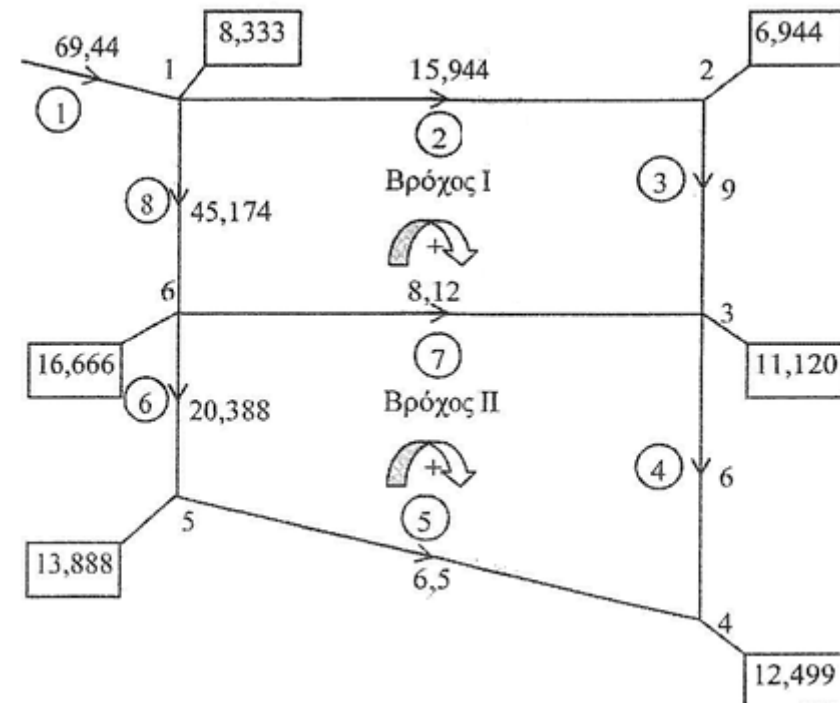


Υδρευση Οικισμού

• Άσκηση επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:

○ Υπολογισμός παροχών εξόδου στους κόμβους

Αγωγός	Παροχή διανομής (l/s)	Παροχή εξόδου στους κόμβους (l/s)					
		1	2	3	4	5	6
1							
2	6.944	2.778	4.166				
3	6.944		2.778	4.166			
4	6.944			2.778	4.166		
5	13.888				8.333	5.555	
6	13.888					8.333	5.555
7	6.944			4.166			2.778
8	13.888	5.555					8.333
		8.333	6.944	11.120	12.499	13.888	16.666



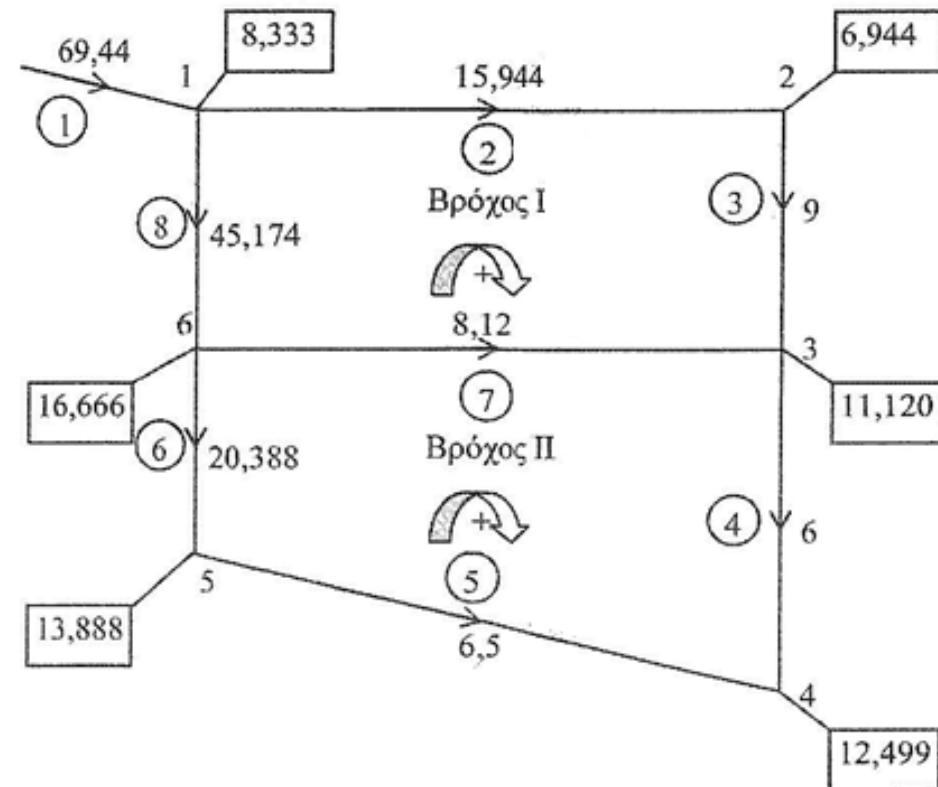


Υδρευση Οικισμού

• Άσκηση επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:

○ Υπολογισμός παροχών υπολογισμού στους αγωγούς

Αγωγός	Παροχή υπολογισμού (l/s)	
1	69.44	$Q_{εξ.}(1) + Q_{υπ.}(8) + Q_{υπ.}(2)$
2	15.944	$Q_{εξ.}(2) + Q_{υπ.}(3)$
3	9	$Q_{εξ.}(3)/2 + Q_{υπ.}(4)/2$ ή 9
4	6	$Q_{εξ.}(4)/2$ ή 6 l/s
5	6.5	$Q_{εξ.}(4)/2$ ή 6.5 l/s
6	20.388	$Q_{εξ.}(5) + Q_{υπ.}(5)$
7	8.12	$Q_{εξ.}(3)/2 + Q_{υπ.}(4)/2$ ή 8.12
8	45.174	$Q_{εξ.}(6) + Q_{υπ.}(6) + Q_{υπ.}(7)$





Υδρευση Οικισμού

- Άσκηση επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:
 - Εφαρμογή της επαναληπτικής μεθόδου Hardy Cross

Από την εξίσωση

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

θεωρούμε $V \cong \frac{1m}{s}$

λύνοντας ως προς D

$$D = 1,2\sqrt{Q}$$

Δεδομένα						
Αγωγοί	Μήκος (m)	$D=1,2*Q^{0,5}$	Εσωτερική Διάμετρος (m)	Παροχή υπολογισμού (l/s)	Πρόσημο (+1 ή -1)	
					Βρόγχος I	Βρόγχος II
1		0.31621765	0.285	69.440		
2	400	0.15152346	0.1446	15.944	1	
3	300	0.113842	0.0994	9.000	1	
4	500	0.0929516	0.0814	6.000		1
5	500	0.09674709	0.0814	6.500		-1
6	200	0.17134386	0.1446	20.388		-1
7	400	0.10813325	0.0994	8.120	-1	1
8	300	0.25505011	0.2532	45.174	-1	

Πίνακας εσωτερικών διαμέτρων, διαλέγοντας τη μεγαλύτερη διάμετρο



Υδρευση Οικισμού

- Άσκηση επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:

- Εφαρμογή της επαναληπτικής μεθόδου Hardy Cross

D (mm)	e (mm)	Dεσ. (m)
63	3	0,057
75	3,6	0,0678
90	4,3	0,0814
110	5,3	0,0994
125	6	0,113
140	6,7	0,1266
160	7,7	0,1446
200	9,6	0,1808
225	10,8	0,2034
250	11,9	0,2262
280	13,4	0,2532
315	15	0,285

Πίνακας εσωτερικών διαμέτρων



Υδρευση Οικισμού

• Άσκηση επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:

○ Εφαρμογή της επαναληπτικής μεθόδου Hardy Cross

$$R = f \frac{8L}{\pi^2 D^5 g}$$

1^η Δοκιμή

	Αγωγός	δ	Q	R	R Q	δ R Q ²	δ ΔQ	Q
Βρόγχος I	2	1	15.944	8362.161608	133326.3047	2125754.602	-0.554762359	15.38923764
	3	1	9	40859.15329	367732.3797	3309591.417	-0.554762359	8.445237641
	7	-1	8.12	54478.87106	442368.433	-3592031.676	0.554762359	8.674762359
	8	-1	45.174	380.9805268	17210.41432	-777463.2564	0.554762359	45.72876236
				ΣRQ=	960637.5317	1065851.086	ΔQ =	-0.5548
				2ΣRQ=	1921275.063			
	Αγωγός	δ	Q	R	R Q	δ R Q ²	δ ΔQ	Q
Βρόγχος II	4	1	6	184904.7	1109428.352	6656570.111	-0.2102	5.7898
	5	-1	6.5	184904.7	1201880.715	-7812224.644	0.2102	6.7102
	6	-1	20.388	4181.1	85243.87543	-1737952.132	0.2102	20.5982
	7	1	8.675	54478.9	472591.26	4099616.874	-0.2102	8.4646
				ΣRQ=	2869144.2019	1206010.2082	ΔQ =	-0.2102
				2ΣRQ=	5738288.4037			



Υδρευση Οικισμού

• Άσκηση επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:

○ Εφαρμογή της επαναληπτικής μεθόδου Hardy Cross

2^η Δοκιμή (Οι παροχές Q προέρχονται από την 1^η δοκιμή)

	Αγωγός	δ	Q	R	R Q	δ R Q ²	δ ΔQ	Q
Βρόγχος I	2	1	15.38923764	8362.161608	128687.2922	1980399.321	0.000900283	15.39013792
	3	1	8.445237641	40859.15329	345065.2594	2914158.117	0.000900283	8.446137924
	7	-1	8.674762359	54478.87106	472591.26	-4099616.874	-0.000900283	8.673862076
	8	-1	45.72876236	380.9805268	17421.76797	-796675.8875	-0.000900283	45.72786208
				ΣRQ=	963765.5796	-1735.323238	ΔQ =	0.0009
				2ΣRQ=	1927531.159			
	Αγωγός	δ	Q	R	R Q	δ R Q ²	δ ΔQ	Q
Βρόγχος II	4	1	5.7898	184904.7	1070567.115	6198402.692	-0.0344	5.7554
	5	-1	6.7102	184904.7	1240741.952	-8325588.153	0.0344	6.7446
	6	-1	20.5982	4181.1	86122.60891	-1773968.051	0.0344	20.6326
	7	1	8.674	54478.9	472542.2136	4098765.986	-0.0344	8.6394
				ΣRQ=	2869973.8890	197612.4741	ΔQ =	-0.0344
				2ΣRQ=	5739947.7779			



Υδρευση Οικισμού

• Άσκηση επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:

○ Εφαρμογή της επαναληπτικής μεθόδου Hardy Cross

3^η Δοκιμή (Οι παροχές Q προέρχονται από την 2^η δοκιμή)

	Αγωγός	δ	Q	R	R Q	δ R Q ²	δ ΔQ	Q
Βρόγχος I	2	1	15.39013792	8362.161608	128694.8205	1980631.037	2.37097E-09	15.39013793
	3	1	8.446137924	40859.15329	345102.0442	2914779.463	2.37097E-09	8.446137926
	7	-1	8.673862076	54478.87106	472542.2136	-4098765.986	-2.37097E-09	8.673862074
	8	-1	45.72786208	380.9805268	17421.42498	-796644.5188	-2.37097E-09	45.72786207
				ΣRQ=	963760.5033	-0.004570086	ΔQ =	0.0000
				2ΣRQ=	1927521.007			
	Αγωγός	δ	Q	R	R Q	δ R Q ²	δ ΔQ	Q
Βρόγχος II	4	1	5.7554	184904.7	1064201.294	6124907.796	-0.0057	5.7497
	5	-1	6.7446	184904.7	1247107.773	-8411238.783	0.0057	6.7503
	6	-1	20.6326	4181.1	86266.55338	-1779902.992	0.0057	20.6383
	7	1	8.674	54478.9	472542.2135	4098765.984	-0.0057	8.6682
				ΣRQ=	2870117.8333	32532.0057	ΔQ =	-0.0057
				2ΣRQ=	5740235.6666			



Υδρευση Οικισμού

• Άσκηση επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:

○ Εφαρμογή της επαναληπτικής μεθόδου Hardy Cross

3^η Δοκιμή (Οι παροχές Q προέρχονται από την 2^η δοκιμή)

	Αγωγός	δ	Q	R	R Q	δ R Q ²	δ ΔQ	Q
Βρόγχος I	2	1	15.39013792	8362.161608	128694.8205	1980631.037	2.37097E-09	15.39013793
	3	1	8.446137924	40859.15329	345102.0442	2914779.463	2.37097E-09	8.446137926
	7	-1	8.673862076	54478.87106	472542.2136	-4098765.986	-2.37097E-09	8.673862074
	8	-1	45.72786208	380.9805268	17421.42498	-796644.5188	-2.37097E-09	45.72786207
				ΣRQ=	963760.5033	-0.004570086	ΔQ =	0.0000
				2ΣRQ=	1927521.007			
	Αγωγός	δ	Q	R	R Q	δ R Q ²	δ ΔQ	Q
Βρόγχος II	4	1	5.7554	184904.7	1064201.294	6124907.796	-0.0057	5.7497
	5	-1	6.7446	184904.7	1247107.773	-8411238.783	0.0057	6.7503
	6	-1	20.6326	4181.1	86266.55338	-1779902.992	0.0057	20.6383
	7	1	8.674	54478.9	472542.2135	4098765.984	-0.0057	8.6682
				ΣRQ=	2870117.8333	32532.0057	ΔQ =	-0.0057
				2ΣRQ=	5740235.6666			



Υδρευση Οικισμού

- Άσκηση επίλυσης Βροχωτού Δικτύου:
 - Υδραυλικός υπολογισμός αγωγών:

Αποτελέσματα		
Τελική παροχή (l/s)	Ταχύτητα ροής (m/s)	Γραμμικές απώλειες (m)
69,44	1,09	0,00
15,39	0,94	1,98
8,45	1,09	2,91
5,76	1,11	6,12
6,74	1,30	8,41
20,63	1,26	1,78
8,67	1,12	4,10
45,73	0,91	0,80