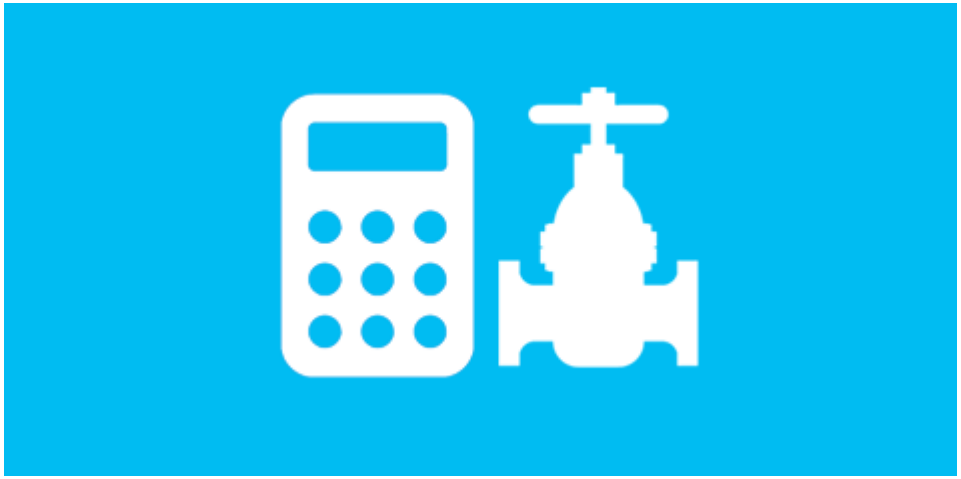
الحساب الهيدروليكي للأنابيب والشبكات

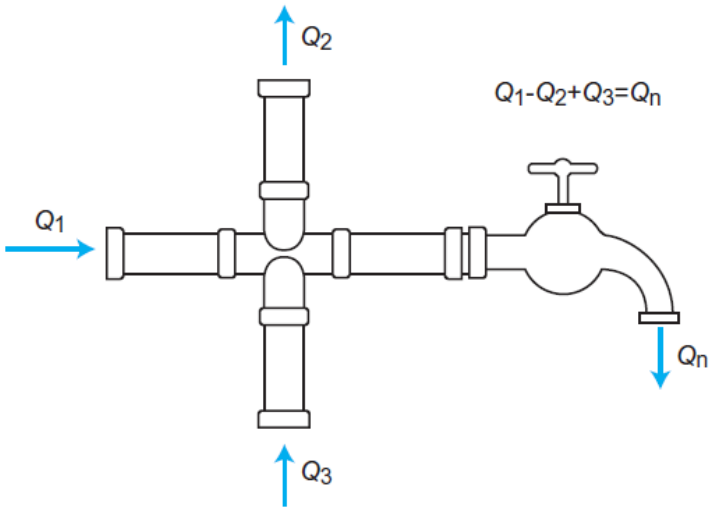


تعاريف

- معادلة الاستمرار:

– تستخدم من أجل موازنة الغزارات المارة عبر شبكات توزيع المياه

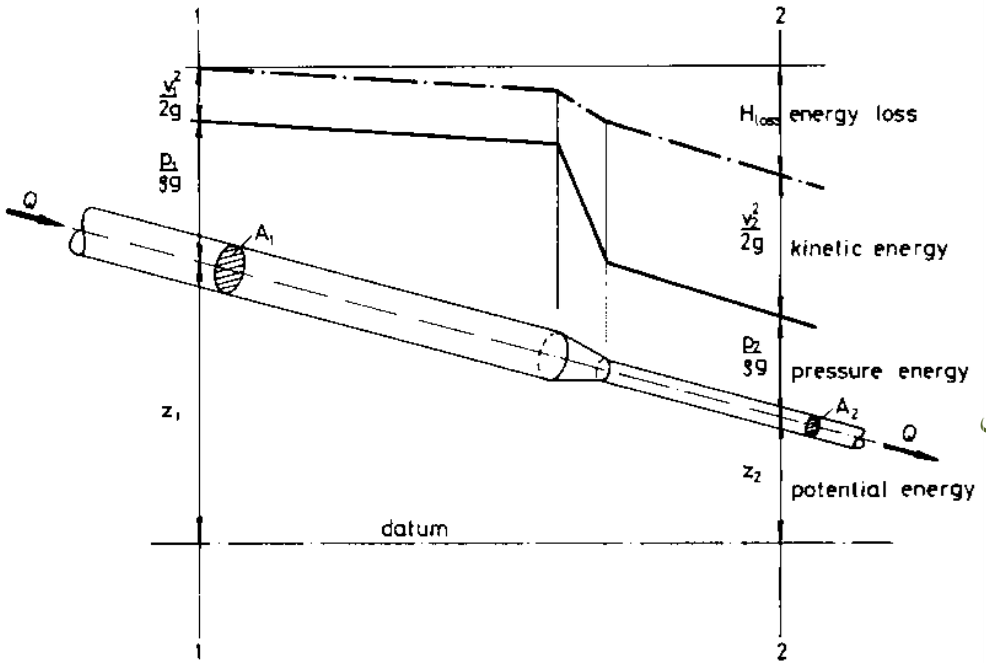
– إذا كان لدينا عقدة يتفرع عنها n أنبوب يمكن كتابة معادلة الاستمرار كالتالي:



$$\sum_{i=1}^{i=j} Q_i = Q_n$$

- معادلة الطاقة: يمكن باستخدامها تحديد توازن الطاقة بين أي مقطعين من أنبوب، ويمكن كتابتها بالشكل التالي:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + \Delta E$$



Z : المنسوب (الطاقة الكامنة)

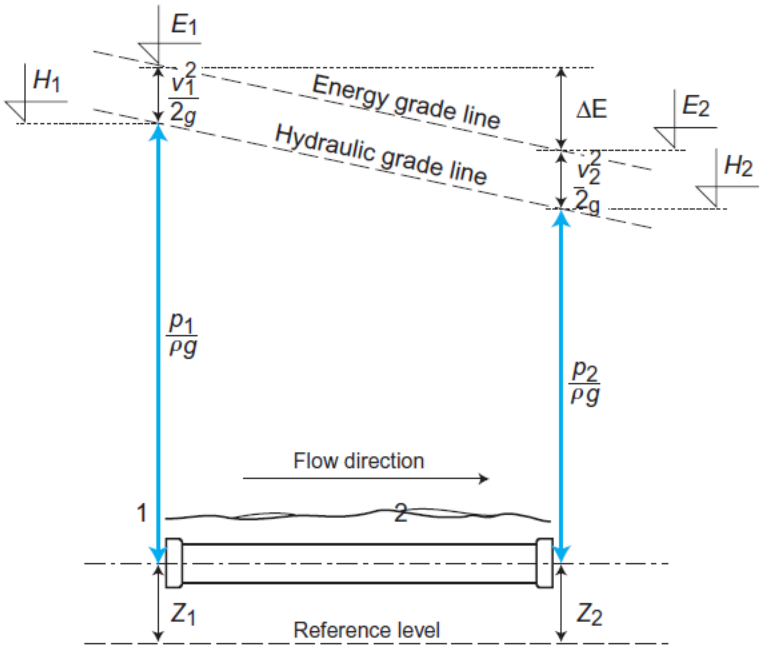
$P/\rho \cdot g$: طاقة الضغط

$Z+\frac{P}{\rho \cdot g}$: الضاغط البيزومتري

$V^2/2g$: الطاقة الحركية

$\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2g} + Z$: الطاقة الكلية

- يتم قياس المنسوب اعتباراً من منسوب مقارنة
- يمكن اعتماد أي منسوب كمنسوب مقارنة



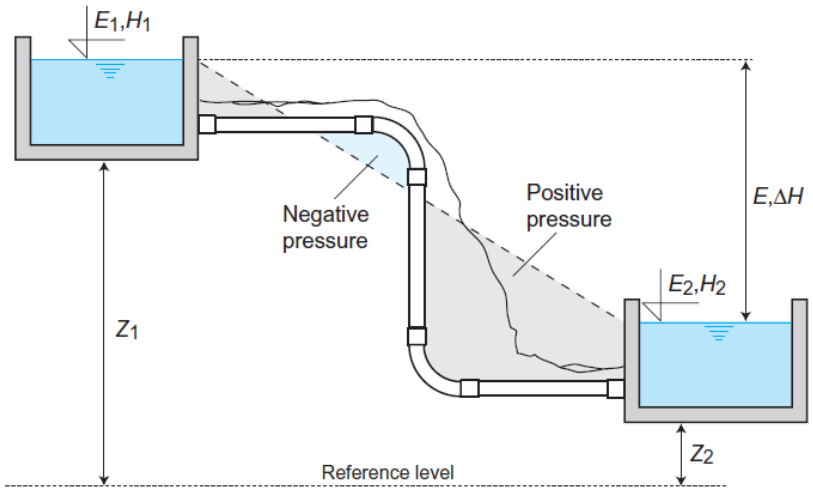
- خط الطاقة (EGL)
  - الخط الواصل بين قيم الطاقة الكلية في مقطعين متتاليين من أنبوب

$$E = Z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

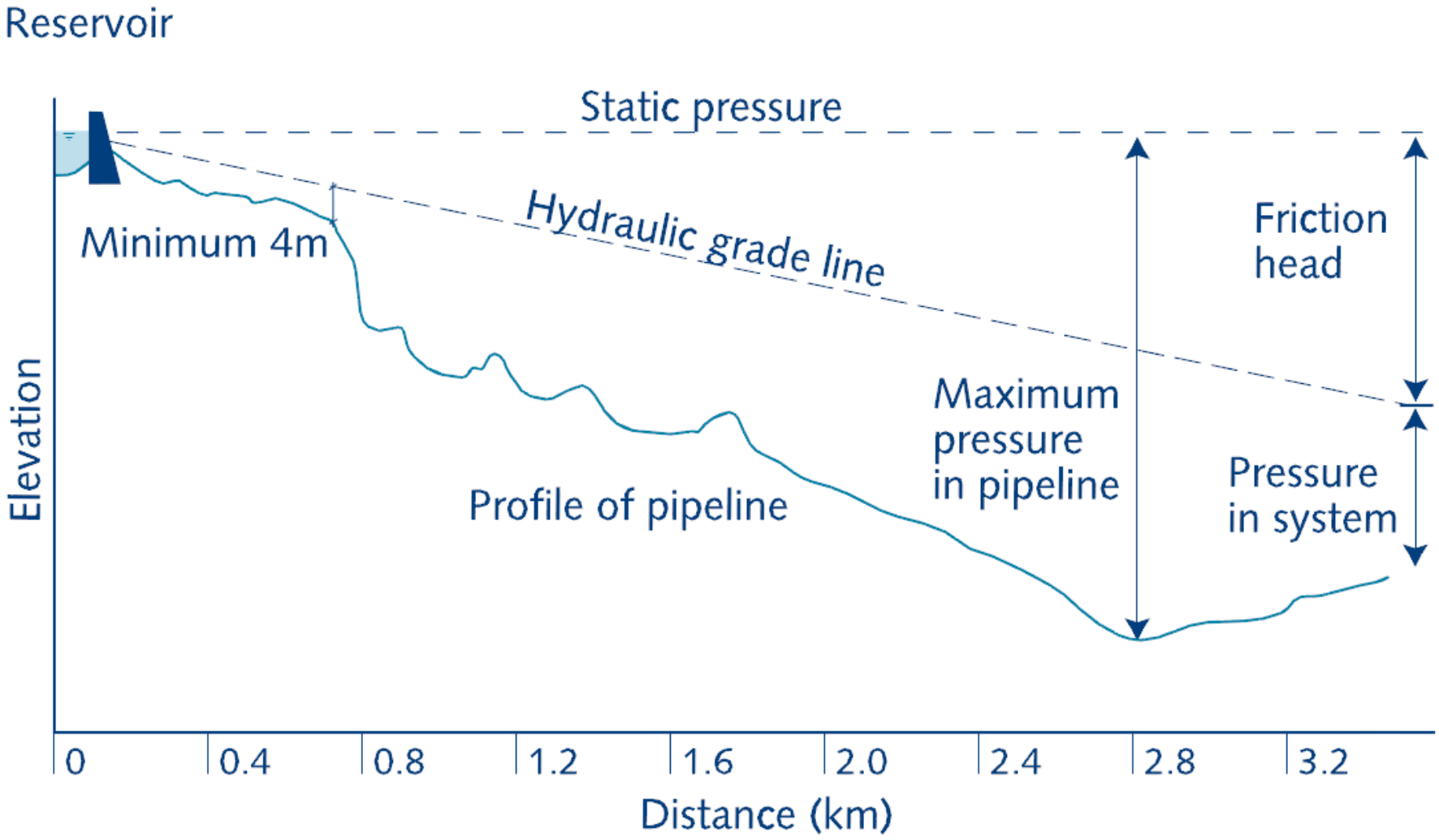
- خط الضاغط البيزومتري (HGL)
  - الخط الواصل بين قيم الضاغط البيزومتري في مقطعين متتاليين من أنبوب

$$H = Z + \frac{P}{\rho \cdot g}$$

- الخطان متوازيان في حالة الجريان المنتظم
- يمكن إهمال الطاقة الحركية مقارنة بطاقة الضغط، وبالتالي يمكن إهمال الفرق بين الخطين
  - لأسباب عملية يتم اعتماد خط الضاغط البيزومتري فقط



- يعطي خط الضاغط البيزومتري لأنبوب ما:
  - قيمة الضاغط المؤثر في أي مقطع من الأنبوب
  - ميل الخط يحدد جهة الجريان ضمن الأنبوب
- في معظم الحالات لا يتوازى خط الضاغط البيزومتري مع محور الأنبوب
  - يمكن أن يتغيرميل محور الأنبوب من مقطع لآخر
  - في الأراضي شديدة الانحدار يمكن أن يهبط خط الضاغط البيزومتري تحت محور الأنبوب
    - مما يتسبب في تشكل ضغط سالب (أقل من الضغط الجوي)


Reservoir
Static pressure
Minimum 4m
Hydraulic grade line
Friction head
Maximum pressure in pipeline
Pressure in system
Profile of pipeline
Elevation
0
0.4
0.8
1.2
1.6
2.0
2.4
2.8
3.2
Distance (km)

- يسمى ميل خط الضاغط البيزومتري بالميل الهيدروليكي

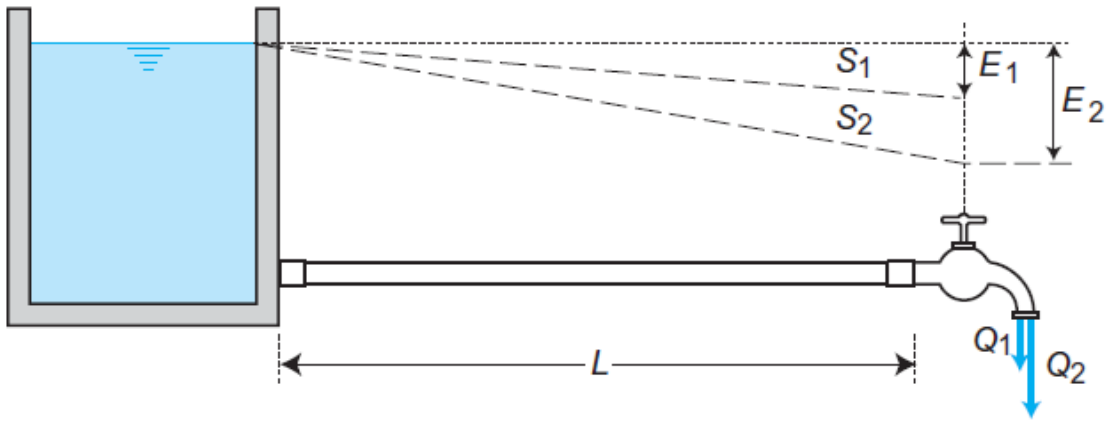
$$S = \frac{\Delta E}{L} = \frac{\Delta H}{L}$$

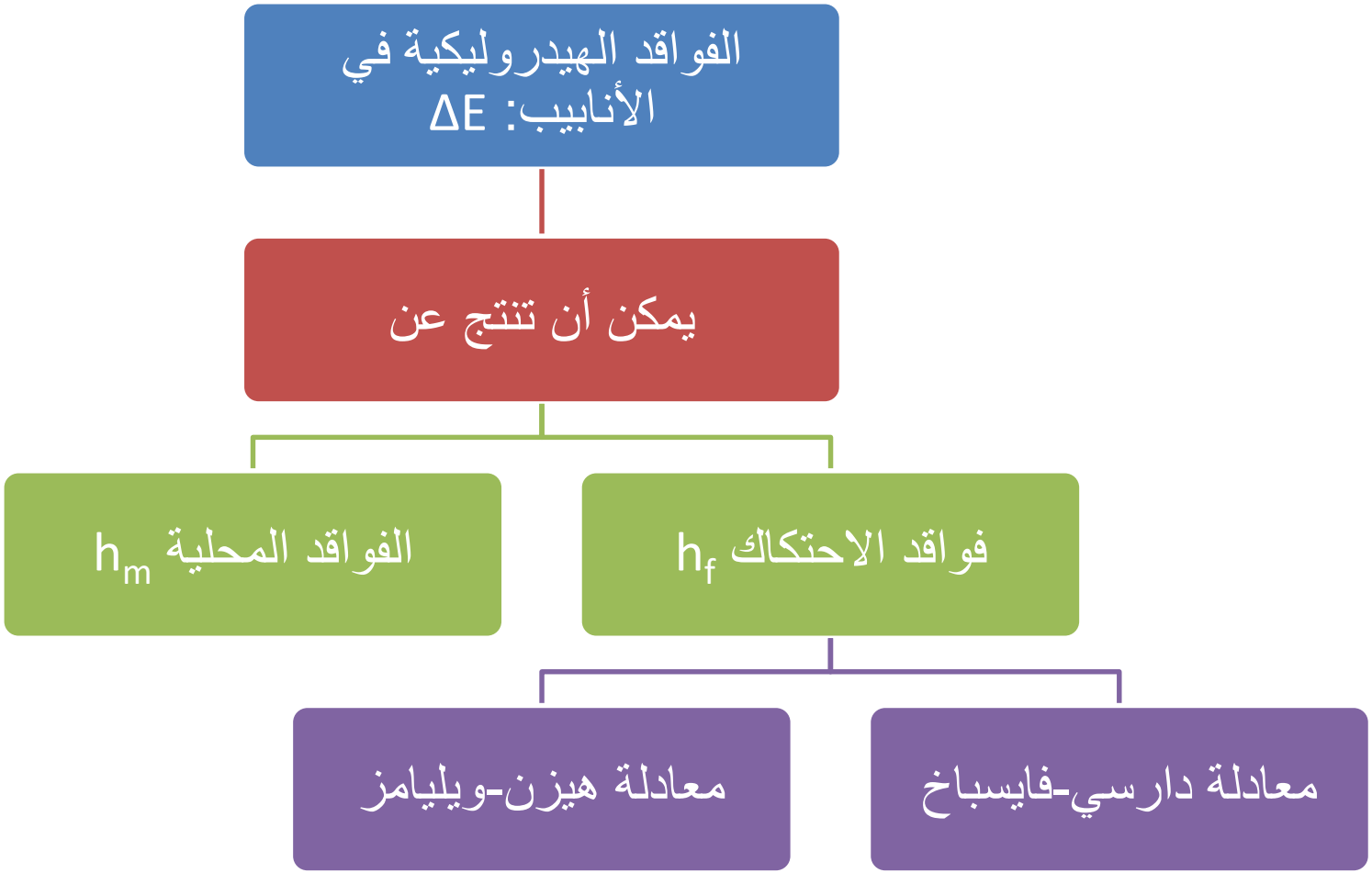
حيث: L(m) طول الأنبوب

- يعكس الميل الهيدروليكي الغزارة التي يمكن أن يمررها الأنبوب (Q)

$$Q = f(s)$$

$$S_2 > S_1 \Rightarrow Q_2 > Q_1$$




الفواقد الهيدروليكية في الأنابيب: ΔE
يمكن أن تنتج عن
فواقد الاحتكاك h_f
الفواقد المحلية h_m
معادلة دارسي-فايسباخ
معادلة هيزن-ويليامز

- معادلة دارسي-فايسباخ Darcy-Weisbach

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

V: سرعة الجريان في المقطع المدروس

D: القطر الداخلي للأنبوب

L: طول الأنبوب

λ: معامل الاحتكاك

- تحسب قيمة معامل الاحتكاك λ من علاقة كولبروك-وايت:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\left(\frac{k}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}}\right)$$

  - للتخلص من التقريب المتتالي يمكن استخدام علاقة Barr (1975):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\left(\frac{k}{3.7 \cdot D} + \frac{5.1286}{Re^{0.89}}\right)$$

  - أو علاقة Swamee (1976):

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[log\left(\frac{k}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2}$$

K: مقدار يعبر عن خشونة السطح الداخلي للأنبوب (mm)

- يمكن أن تعطى قيم K بالجداول في الشريحة التالية
- عند تصميم شبكات التوزيع يمكن استخدام قيمة k=1mm والتي تأخذ بالحسبان وجود فواقد محلية ناتجة عن الوصلات والقطع الملحقة

D: القطر الداخلي للأنبوب

Re: رقم رينولدز

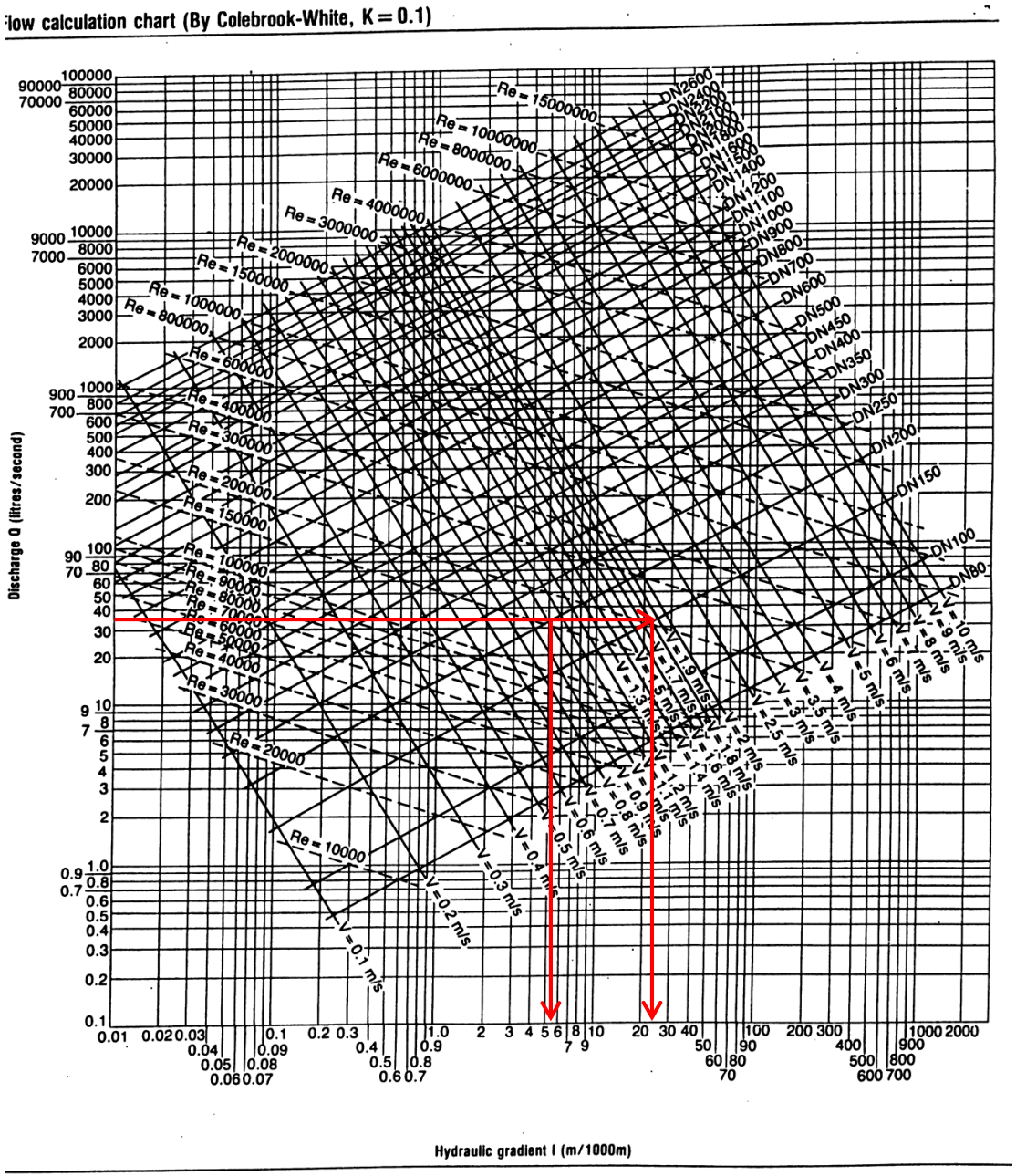
$$Re = \frac{V \cdot D}{\upsilon}$$

υ: اللزوجة الحركية للمياه

$$\upsilon = \frac{497 \cdot 10^{-6}}{(T + 42.5)^{1.5}} \ (m^2/S)$$

قيم K من أجل أغراض التصميم	
	k (mm)
أنابيب جديدة ونظيفة	
أنابيب فولاذ مزيبق أو فونت مرن	
أنابيب مبطنة بالاسفلت أو المينا	0.05-0.025
مبطنة بالمونة الاسمنتية	0.1-0.03
الأنابيب البيتونية	0.3-0.03
الأنابيب البلاستيكية	0.06-0.003

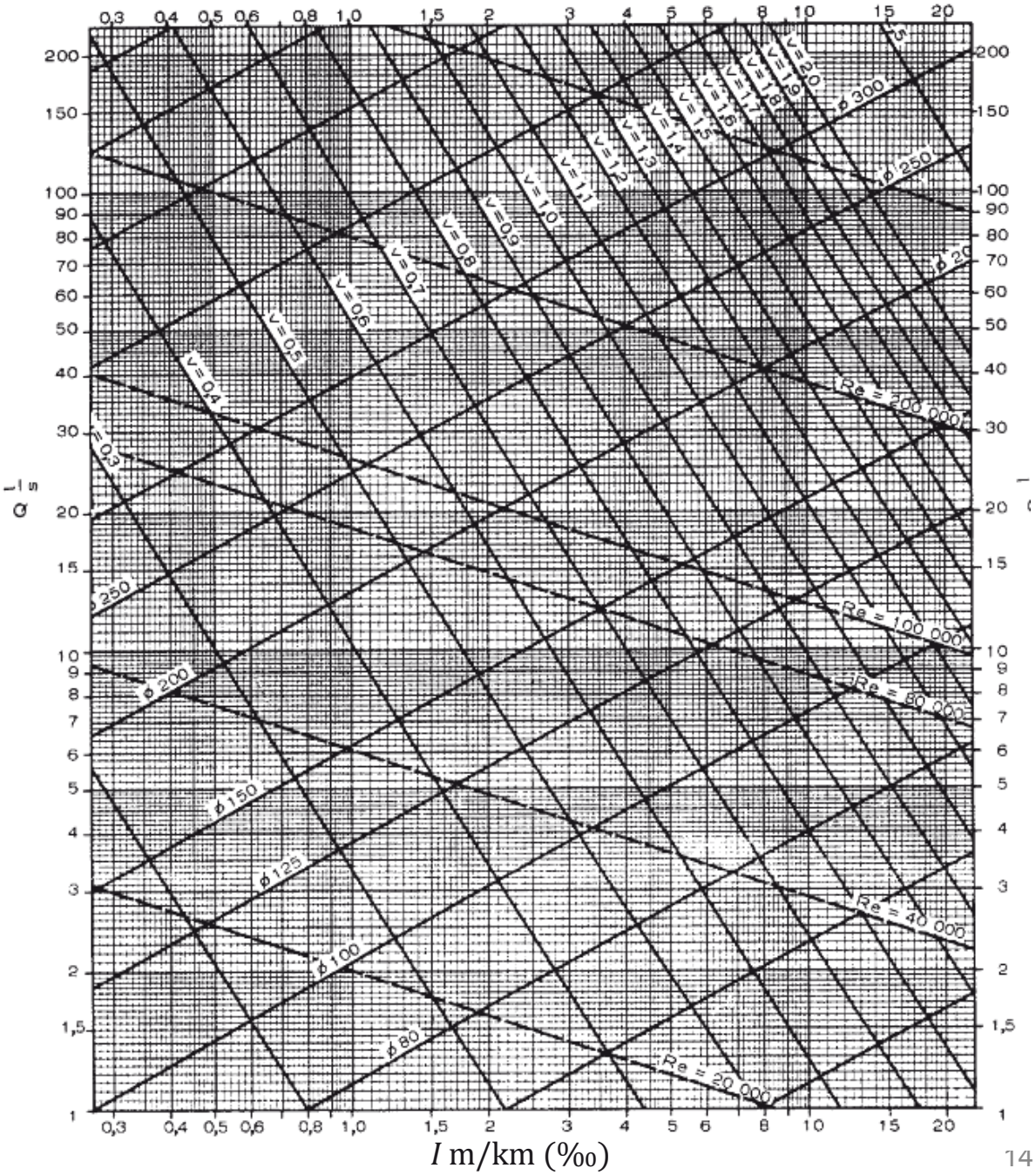
قيم K لأغراض التصميم مع سماحية للقطع الملحقة وتقادم الأنابيب	
	K (mm)
أنابيب نقل المياه الخام	1.5-3.0
أنابيب نقل مياه معالجة رئيسية	0.1
أنابيب نقل ثانوية	0.4
شبكات التوزيع	1.0
أنابيب قديمة من الفولاذ المزيبق أو الفونت المرن	1.0-2.0



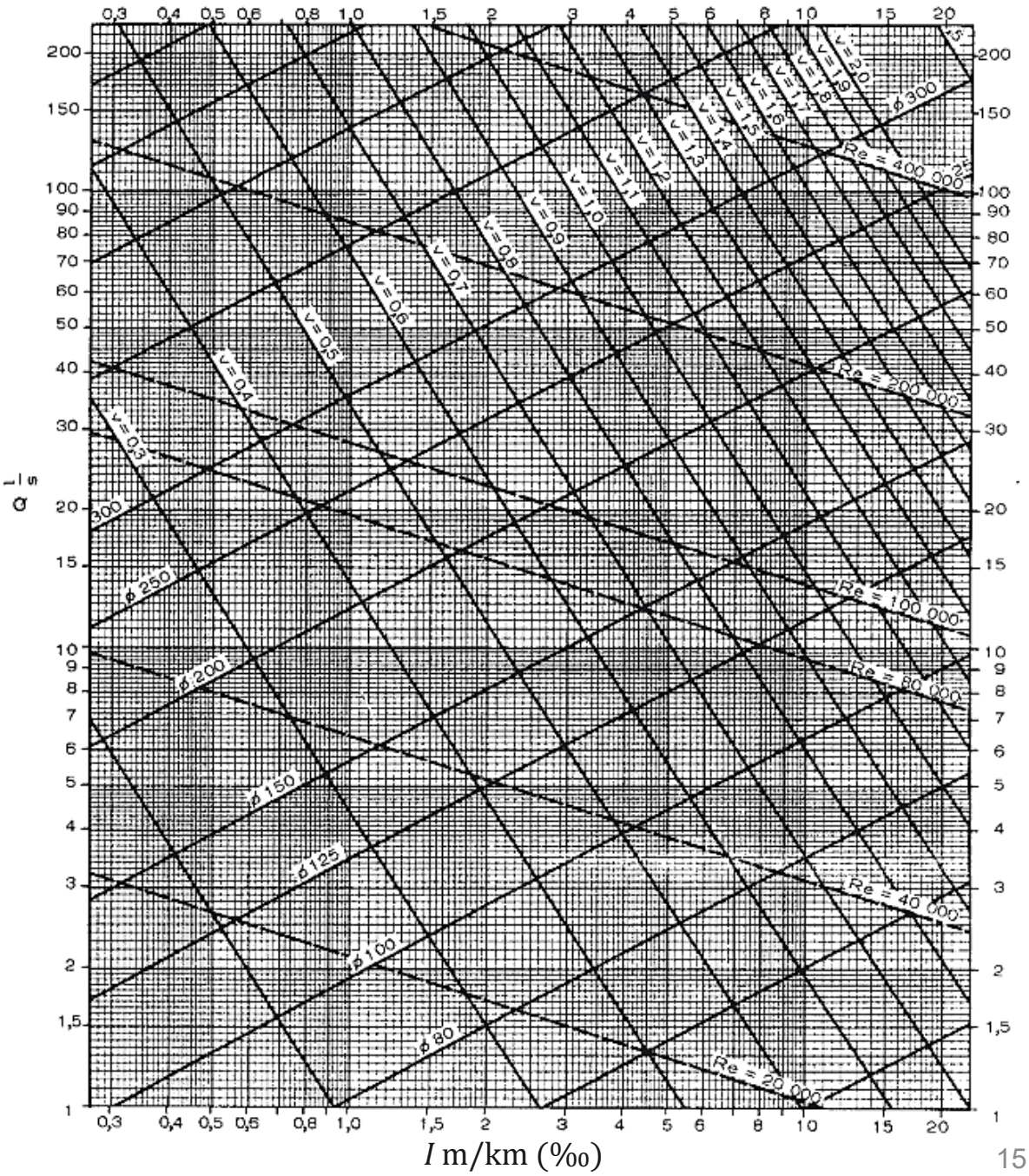
q=35 l/sec
d=150 mm
v=1.7 m/sec
h=23‰

d=200 mm
v=1.02 m/sec
h=5.2‰

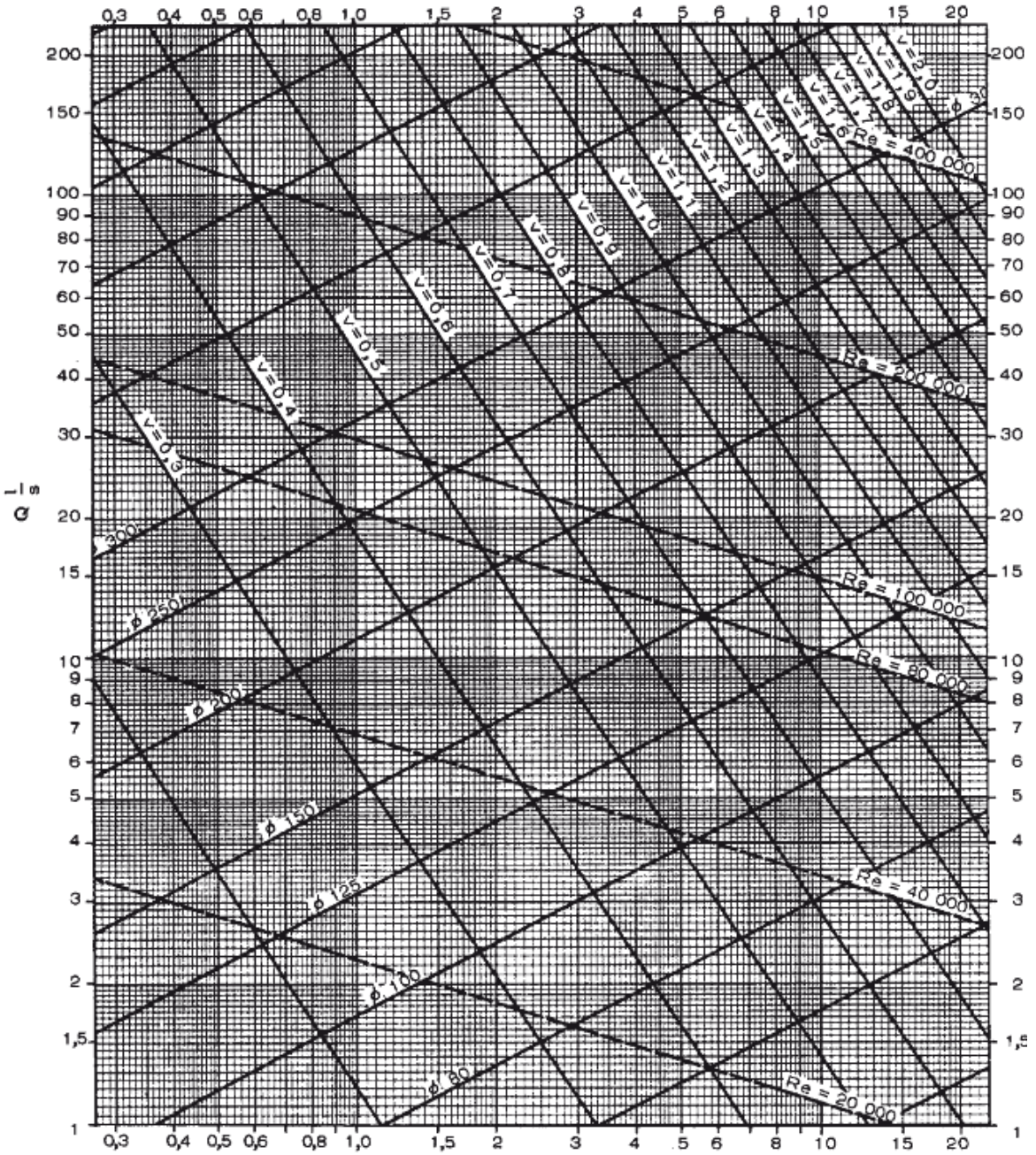
k= 0,1 mm; t = 10 °C


Q l/s
I m/km (‰)
v = 0,3
v = 0,4
v = 0,5
v = 0,6
v = 0,7
v = 0,8
v = 0,9
v = 1,0
v = 1,1
v = 1,2
v = 1,3
v = 1,4
v = 1,5
v = 1,6
v = 1,7
v = 1,8
v = 1,9
v = 2,0
ø 300
ø 250
ø 200
ø 150
ø 125
ø 100
ø 80
Re = 200 000
Re = 100 000
Re = 80 000
Re = 60 000
Re = 40 000
Re = 20 000

k= 0,4 mm; t = 10 °C


Q l/s
I m/km (‰)
v = 0,1
v = 0,2
v = 0,3
v = 0,4
v = 0,5
v = 0,6
v = 0,7
v = 0,8
v = 0,9
v = 1,0
v = 1,1
v = 1,2
v = 1,3
v = 1,4
v = 1,5
v = 1,6
v = 1,7
v = 1,8
v = 1,9
v = 2,0
ø 300
ø 250
ø 200
ø 150
ø 125
ø 100
ø 80
Re = 400 000
Re = 200 000
Re = 100 000
Re = 80 000
Re = 40 000
Re = 20 000

k= 1.0 mm; t = 10 °C


Q l/s
I m/km (‰)
Re = 400 000
Re = 200 000
Re = 100 000
Re = 60 000
Re = 40 000
Re = 20 000
ø 300
ø 250
ø 200
ø 150
ø 125
ø 100
ø 80
v=0,3
v=0,4
v=0,5
v=0,6
v=0,7
v=0,8
v=0,9
v=1,0
v=1,1
v=1,2
v=1,3
v=1,4
v=1,5
v=1,6
v=1,7
v=1,8
v=1,9
v=2,0

- معادلة هيزن ويليامز:

$$h_f = 6.81 \cdot \frac{L}{D^{1.167}} \cdot \left(\frac{V}{C}\right)^{1.852}$$

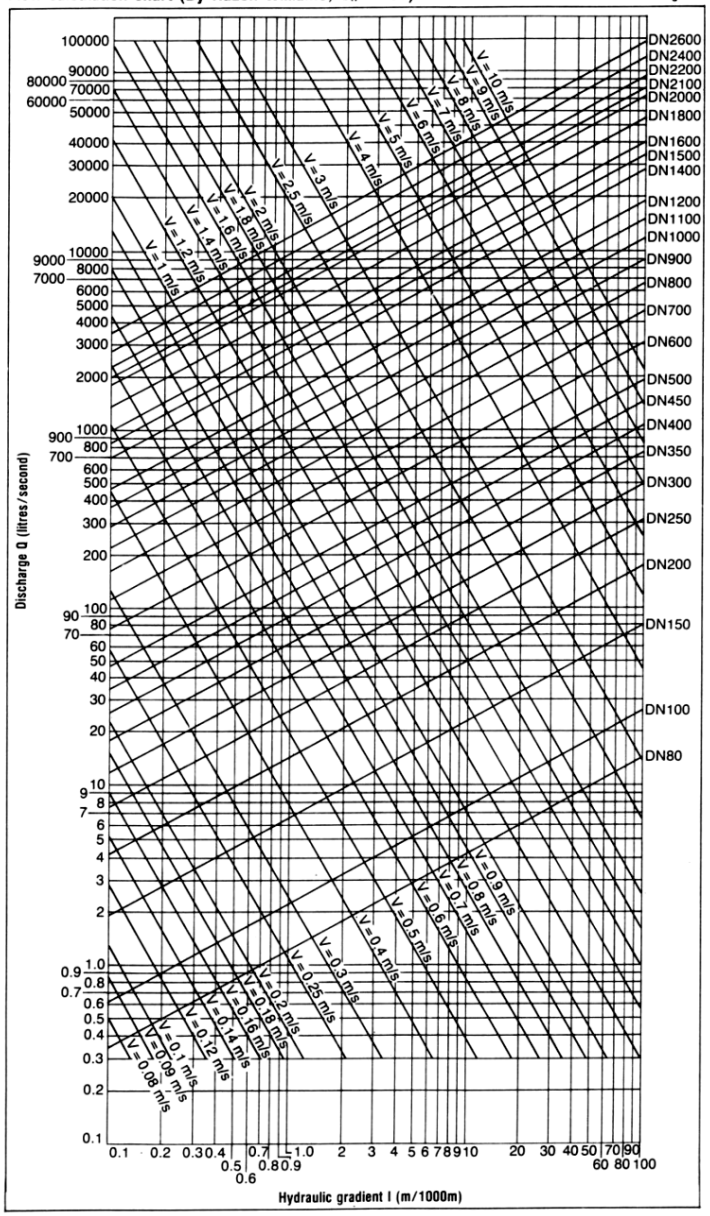
C: معامل يتعلق بنوع ومواصفات الأنبوب

- من أجل أنابيب الفونت المرن المبطنة بالمونة الاسمنتية C=150
- عند التصميم ينصح باستخدام C=130 حيث يتضمن ذلك مراعاة وجود فواقد في الوصلات والقطع الملحقة والصمامات، إضافة لاحتياط أمان

مادة الأنبوب	عمر الأنابيب	
	جديد	غير معروف
فونت مرن (مبطن)	130	100
فونت مرن مبطن بالمونة الاسمنتية	130	130
فولاذ مزيبق، وصلات تدكيك	110	90
فولاذ مزيبق، وصلات لحام	140	100
فولاذ، وصلات لحام، مبطنة بالمونة الاسمنتية	140	130
أنابيب بيتونية	140	130
أنابيب بلاستيكية	140	130

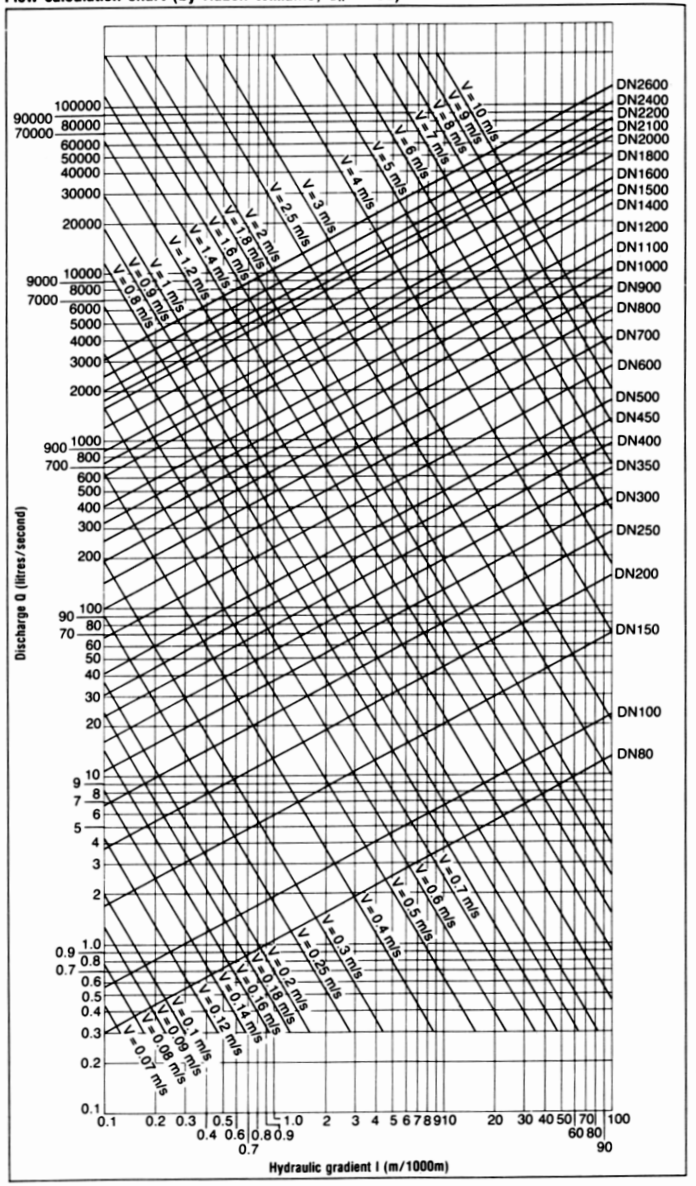
Flow calculation chart (By Hazen-Williams, $C_H = 150$)

Fig. 4-1



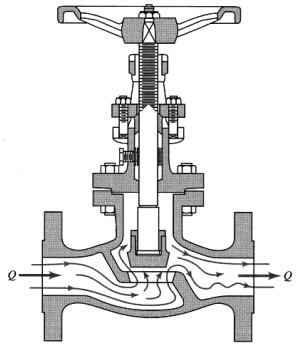
Flow calculation chart (by Hazen-Williams, $C_H = 130$)

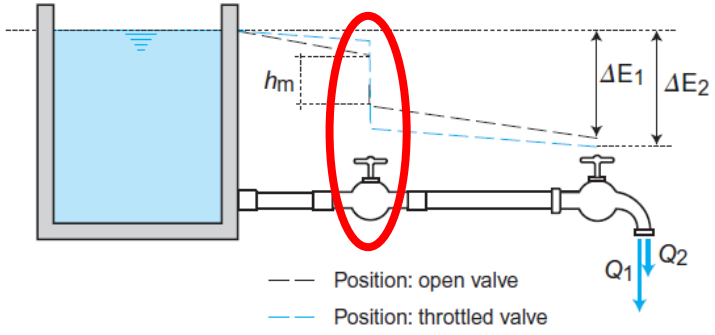
Fig. 4-2



- الفواقد المحلية h_m:
  - تنشأ الفواقد المحلية عن اضطراب الجريان الناتج عن مرور المياه عبر الصمامات، الأكواع، النقاصات، التصالبات،..
  - نتيجة الفواقد يحصل هبوط مفاجئ في خط الضاغط البيزومتري في منطقة إعاقة الجريان
  - يحسب الفاقد من العلاقة

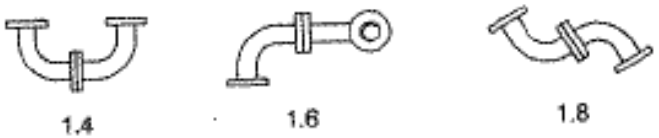
$$h_m = \xi \cdot \frac{V^2}{2g}$$



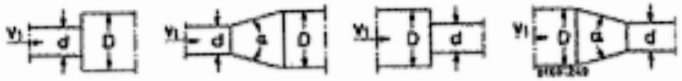


– حيث ξ: معامل الفاقد المحلي، ويتم تحديده تجريبياً

– يمكن استخدام القيم المعطاة في الجداول التالية:



The following are straightforward ξ-values, proposed by KSB (*Figure 5-AII*):



Form		d/D =	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
I		ζ ≈	0.56	0.41	0.26	0.13	0.04
II for	α = 8°	ζ ≈	0.07	0.05	0.03	0.02	0.01
	α = 15°	ζ ≈	0.15	0.11	0.07	0.03	0.01
	α = 20°	ζ ≈	0.23	0.17	0.11	0.05	0.02
III		ζ ≈	4.80	2.01	0.88	0.34	0.11
IV for 20° < α < 40°		ζ ≈	0.21	0.10	0.05	0.02	0.01

AII.1 Bends & Elbows

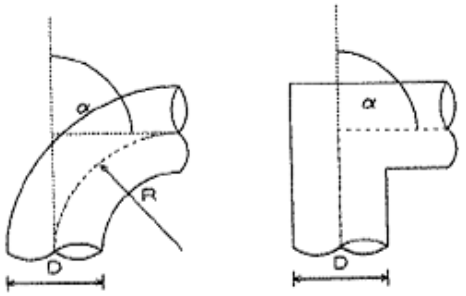


Table 1-AII

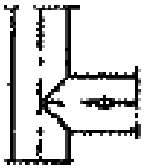
Minor Loss Factor, ξ

	Deflection angle, α [°] 15	30	45	60	90
BENDS					
R/D = 1	0.05	0.09	0.13	0.16	0.21
R/D = 2	0.04	0.07	0.10	0.12	0.15
R/D = 3	0.03	0.05	0.08	0.09	0.12
R/D = 4	0.02	0.04	0.06	0.07	0.09
ELBOWS	0.06	0.13	0.25	0.50	1.20

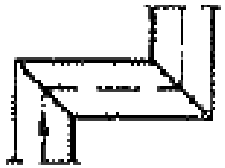
Knee piece

α	45°		60°		90°	
	Surface		Surface		Surface	
-	smooth	rough	smooth	rough	smooth	rough
ζ	0.25	0.35	0.50	0.70	1.15	1.30

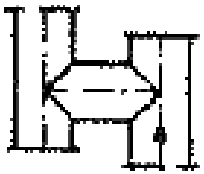
Combinations with 90° knee pieces



ζ = 2.5

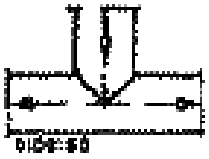


ζ = 3



ζ = 5

T pieces (subdivision of flow)

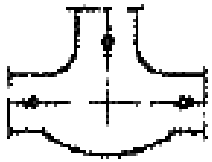


with sharp edges

ζ = 1.3

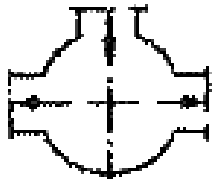
rounded with straight bottom

ζ = 0.7



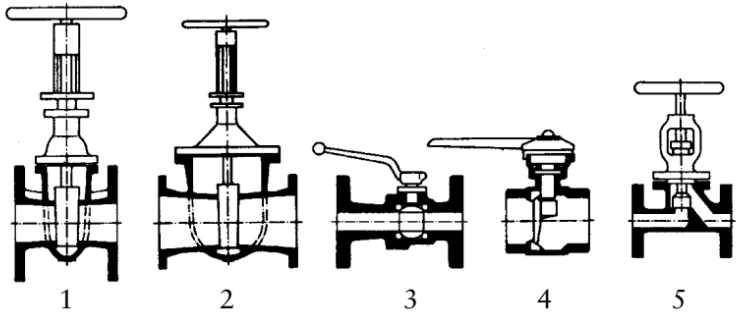
spherical with inward-rounded neck

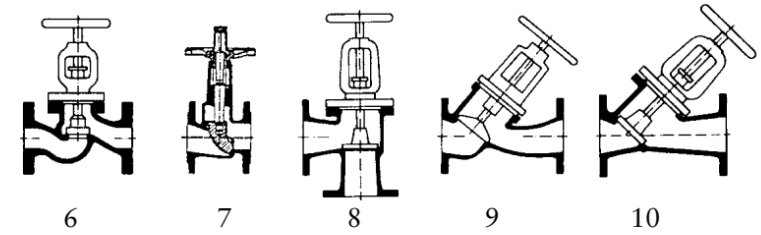
ζ = 0.9

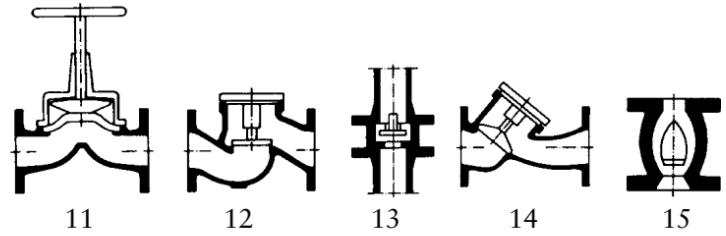


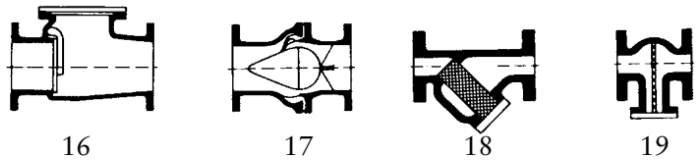
spherical

ζ = 2.5 to 4.9


1
2
3
4
5


6
7
8
9
10


11
12
13
14
15


16
17
18
19

	Type of valve / fitting		Design	Loss coefficient ζ for DN = 15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	Comment
Shut-off valves	Slide disc valves	min	1	0.1	←																	0.1	For d_E < DN cf. footnote [1]
	(d_E = DN)	max		0.65	0.6	0.55	0.5	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3	←									0.3	
	Round-body gate valves	min	2						0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.13	0.12	0.11	0.11	
	(d_E = DN)	max							0.32	0.31	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.20	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	
	Ball and plug valves	min	3	0.10	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02					For d_E < DN
	(d_E = DN)	max		0.15	←												→	0.15					ζ = 0.4 to 1.1
	Butterfly valves PN 2.5 10	min	4					0.90	0.59	0.38	0.26	0.20	0.14	0.12	0.09	0.06	←					0.06	
		max						1.20	1.00	0.80	0.70	0.62	0.56	0.50	0.42	0.40	0.37	0.33	0.33	0.33	0.30	0.28	
	PN 16 25	min							2.04	1.80	1.55	1.30	1.08	0.84	0.75	0.56	0.48	0.40	←			0.40	
		max							2.50*	2.30*	2.10*	1.90*	1.70*	1.50*	1.30	1.10	0.90	0.83	0.76	0.71	0.67*	0.63*	* Also for PN 40
	Globe valves, forged	min	5			6.0	↔		6.0														
		max				6.8	↔		6.8														
	Globe valves, cast	min	6	3.0	←												3.0						ζ = 2 to 3 can be achieved
		max		6.0	←												6.0						for optimized valve
	Compact valves	min	7	0.3	0.4	0.6	0.6	1.0	1.1	←					1.1								
		max		0.3	0.9	1.9	↔		1.9	2.2	2.2	2.3	2.5	2.5									
	Angle valves	min	8	2.0	←													2.0					
		max		3.1	↔		3.1	3.4	3.8	4.1	4.4	4.7	5.0	5.3	5.7	6.0	6.3	6.6					
	Y-valves	min	9	1.5	←												1.5						
		max		2.6	←												2.6						
	Straight-through valves	min	10	0.6	←													0.6					
		max		1.6	←													1.6					
	Diaphragm valves	min	11	0.8	←									0.8									
		max		2.7	←									2.7									
Non-return valves	Non-return valves, straight seat	min	12	3.0	←										3.0								
		max		6.0	←										6.0								
	Non-return valves, axial	min	13	3.2	←				3.2	3.7	5.0	7.3	4.3	↔			4.3						Axially expanded as from
		max		3.4	3.4	3.5	3.6	3.8	4.2	5.0	6.4	8.2	4.6	↔			4.6						DN 125
	Non-return valves, slanted seat	min	14	2.5	2.4	2.2	2.1	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	←				1.5						
		max		3.0	←												3.0						
	Foot valves	min	15						1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	(7.0)	(6.1)	(5.5)	(4.5)	(4.0)	( ) In groups
		max							3.0	←							3.0						
	Swing check valves	min	16	0.5	↔			0.5	0.4	←							0.4	0.3	↔			0.3	Swing check valves with-
		max		3.0	←																	3.0	out levers and weights [2]
	Hydrostops v = 4 m/s		17						0.9			3.0		3.0	2.5	2.5	1.2	2.2					
	v = 3 m/s								1.8			4.0		4.5	4.0	4.0	1.8	3.4					
	v = 2 m/s								5.0			6.0		8.0	7.5	6.5	6.0	7.0					
	Filters		18					2.8	←								2.8						In clean condition
	Strainers		19					1.0	←								1.0						

[1]) If the narrowest shut-off diameter d_E is smaller than the line connection nominal diameter DN. the loss coefficient ζ must be increased by $(DN/d_E)^x$ with x = 5 to 6.
[2]) When the valve is partially open, i.e. low flow velocities, the loss coefficients increase to the "max" values. With increasing flow velocities v (in m/s) the loss coefficients decrease roughly as ζ 3/v.
See Fig. 13 for designs.

مقاومة الأنبوب

من أجل توحيد شكل معادلات حساب الفواقد في الأنابيب تم اعتماد مفهوم مقاومة الأنبوب

$$\Delta E = h_f + h_m = R_f \cdot Q^{n_f} + R_m \cdot Q^{n_m}$$

حيث R مقاومة الأنبوب

Darcy-Weisbach:

$$h_f = \lambda \frac{L}{2dg}\frac{Q^2}{A^2} = \lambda \frac{L}{2dg\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)^2} Q^2 = \lambda \frac{L}{\frac{2\pi^2}{16} d^5 \cdot 9.81} = \lambda \frac{L}{12.1 \cdot d^5} Q^2 = R_f \cdot Q^2$$

R_f

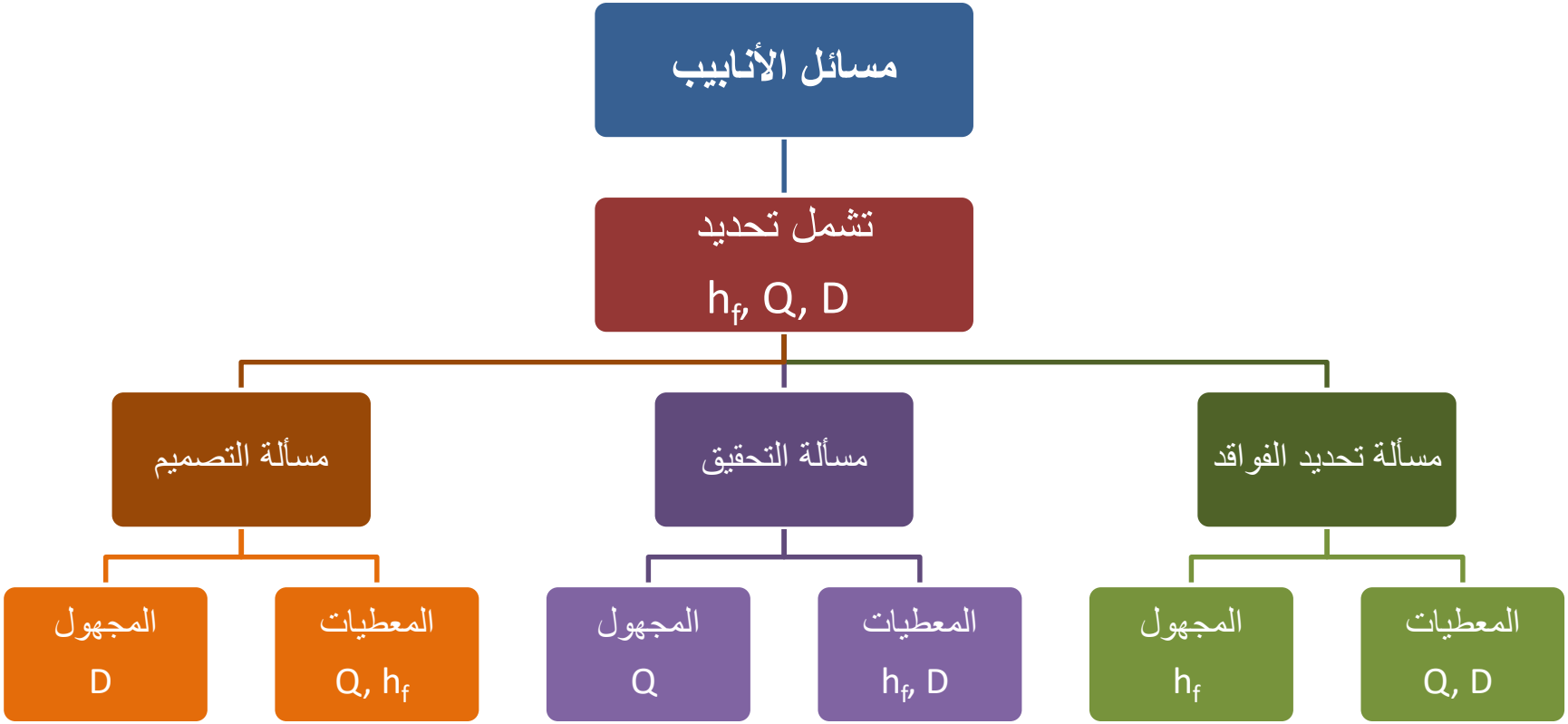
$n_f = 2$

Hazen-Williams:

$$R_f = \frac{10.68L}{C_{hw}^{1.852} D^{4.87}} \;\; ; \;\; n_f = 1.852$$

الفواقد المحلية R_m:

$$R_m = \frac{8 \cdot \xi}{\pi^2 g D^4} = \frac{\xi}{12.1 \cdot D^4} \;\; ; \;\; n_m = 2$$


مسائل الأنابيب
تشمل تحديد
h_f, Q, D
مسألة التصميم
مسألة التحقيق
مسألة تحديد الفواقد
المجهول
D
المعطيات
Q, h_f
المجهول
Q
المعطيات
h_f, D
المجهول
h_f
المعطيات
Q, D

مسألة تحديد الفواقد

- مسألة 3-1:

أنبوب فونت مرن

- L=1000 m
- D=500 mm
- Q=400 l/sec

– يطلب حساب الفواقد الطولية باستخدام كل من معادلتي دارسي-فايسباخ و هيزن-ويليامز T=10°C C=130 k=0.1 mm

$$H-W:\ h_f = 6.81 \cdot \frac{L}{D^{1.167}} \cdot \left(\frac{V}{C}\right)^{1.852}$$

$$D-W:\ h_f = R_f \cdot Q^2 \qquad \nu = \frac{497 \cdot 10^{-6}}{(T+42.5)^{1.5}} \qquad \lambda = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{k}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right)\right]^2}$$

مسألة التحقيق

- مسألة 3-2:

يطلب تحديد الغزارة العظمى التي يمكن أن ينقلها أنبوب D=200 mm إذا سار بميل قدره k=0.1 mm, S=0.005

درجة حرارة الماء 10C°

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{k}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right)\right]^2} \qquad \mathrm{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu} \qquad \nu = \frac{497 \cdot 10^{-6}}{(T + 42.5)^{1.5}} \qquad h_f = R_f Q^2$$

$$\mathrm{R}_f = \frac{\lambda L}{12.1 D^5}$$

مسألة التصميم

- مسألة 3-3:

– يطلب تحديد قطر الأنبوب اللازم لإمرار غزارة قدرها $Q=720m^3/h$ إذا كان الميل الهيدروليكي الأعظمي $S=0.002$

$K=0.1$ mm, $T=10°C$

$$h_f = R_f \cdot Q^2 \qquad R_f = \frac{\lambda L}{12.1 D^5}$$

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{K}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right)\right]^2} \qquad \mathrm{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu} \qquad \nu = \frac{497 \cdot 10^{-6}}{(T + 42.5)^{1.5}}$$

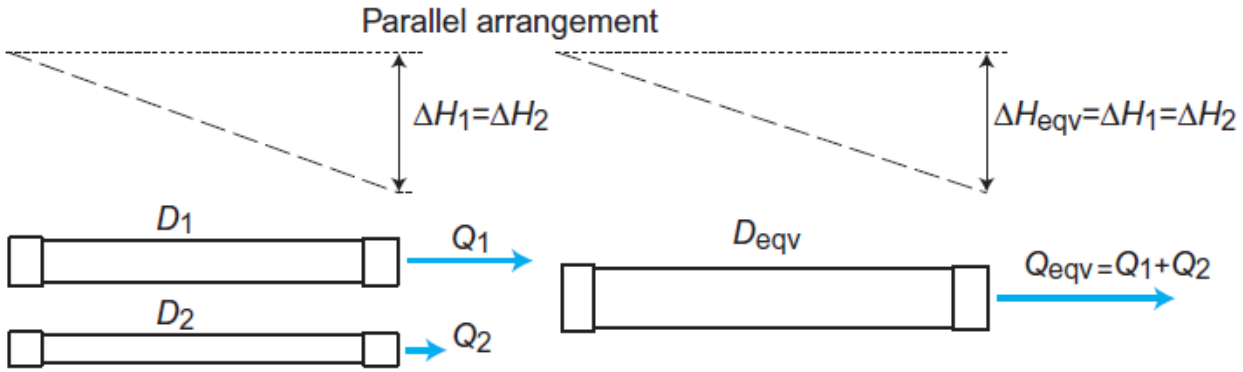
الأنابيب المكافئة

- خلال التخطيط لتوسيع شبكات المياه أو إعادة تأهيلها تظهر لدينا الحاجة للمقارنة بين عدد من الحلول:
  - مد أنبوب جديد
  - مد أنبوب إضافي على التوازي (إضافة للأنبوب الموجود)
  - مد أنبوب إضافي على التسلسل (توسيع الشبكة)
- من أجل ذلك يستخدم مفهوم الأنابيب المكافئة هيدروليكياً
- عند دراسة الأنابيب المكافئة هيدروليكياً يجب المحافظة على:
  - الميل الهيدروليكي عند الوصل على التوازي
  - الغزارة المارة عند الوصل على التسلسل
- في هذه الحالات يمكن تصميم أنابيب بأقطار مكافئة

- وصل الأنابيب على التوازي
  - الفواقد في جملة أنابيب موصولة على التوازي هي نفسها في أي من الأنابيب
  - غزارة جملة أنابيب موصولة على التوازي هو مجموع الغزارات المارة عبر كل الأنابيب
  - يمكن كتابة معادلات أنبوب مكافئ لجملة n أنبوباً موصولة على التوازي بالشكل التالي:

$$\Delta H_{equ} = \Delta H_1 = \Delta H_2 = \cdots = \Delta H_n$$

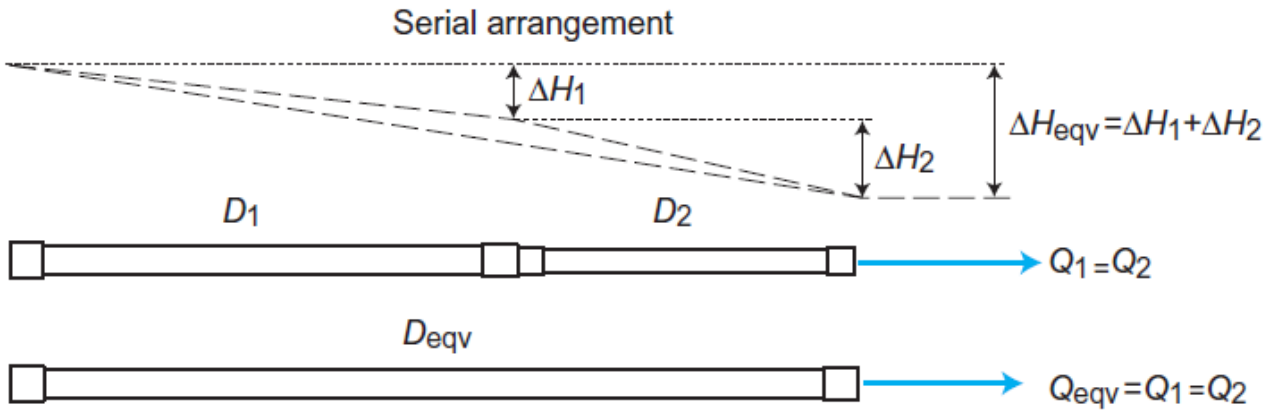
$$Q_{equ} = Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n$$



- وصل الأنابيب على التسلسل
  - تمر الغزارة نفسها عبر أي من الأنابيب
  - فواقد الطاقة في جملة أنابيب موصولة على التسلسل هي مجموع فواقد الطاقة في كل الأنابيب
  - يمكن كتابة معادلات أنبوب مكافئ لجملة n أنبوباً موصولة على التسلسل بالشكل التالي

$$\Delta H_{equ} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \cdots + \Delta H_n$$

$$Q_{equ} = Q_1 = Q_2 = \cdots = Q_n$$



- المسألة 3-4:

– لـدينا أنبـوب L=450 m, D=300 mm, k=0.3 mm ينقـل غـزارة Q=100l/s

– يخطط لزيادة الغزارة المارة إلى Q=300 l/s والمطلوب:

أ- تحديد قطر الأنبوب الواجب وصله على التوازي للأنبوب الموجود

ب- تحديد قطر الأنبوب الجديد الواجب مده بدلاً عن الأنبوب الموجود

ج- تحديـد الأقطـار إذا أريـد اسـتبدال الأنبـوب الموجـود بـأنبوبين متمـاثلين موصولين على التوازي

k=0.1 mm للأنابيب الجديدة

T=10°C

$$h_f = R_f \cdot Q^2 \qquad R_f = \frac{\lambda L}{12.1 D^5} \qquad \lambda = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{K}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right)\right]^2} \qquad \mathrm{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu} \qquad \nu = \frac{497 \cdot 10^{-6}}{(T + 42.5)^{1.5}}$$

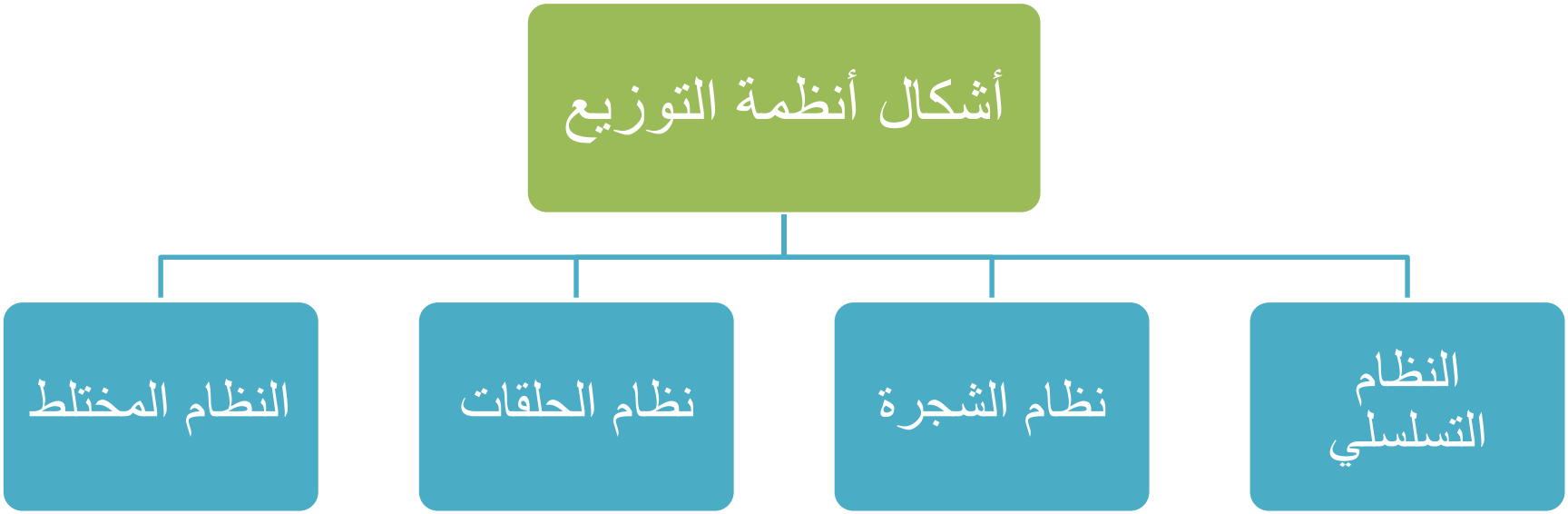
- المسألة 3-5:

– يطلب إيجاد القطر المكافئ لأنبوبين موصولين على التسلسل في الحالتين التاليتين:

(a D_1=400 mm, D_2=200 mm; Q=80 l/s

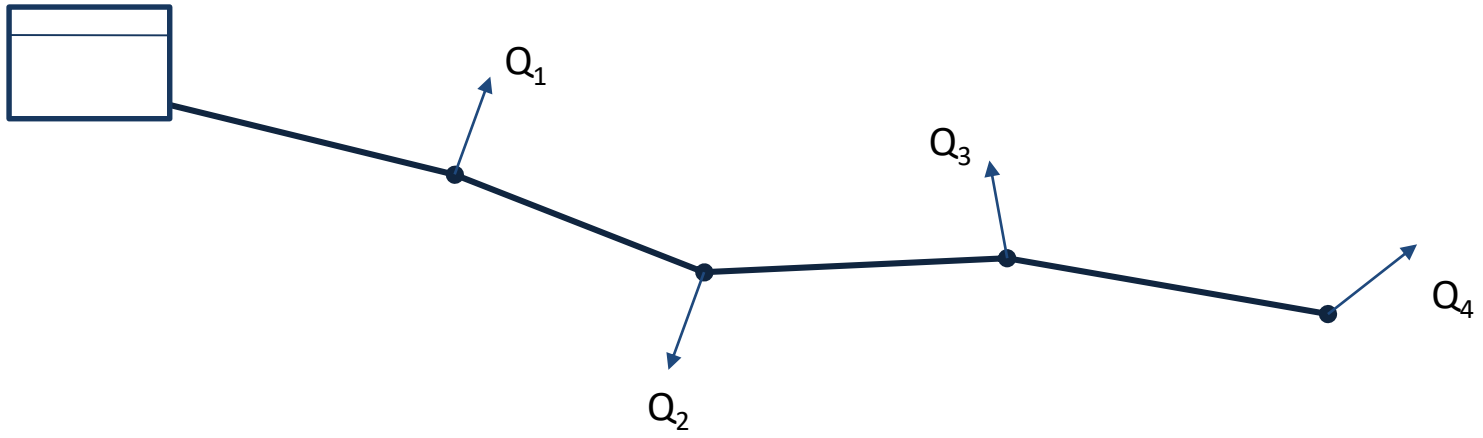
(b D_1=600 mm, D_2 = 300 mm; Q = 400 l/s

$$h_f = R_f \cdot Q^2 \qquad \mathrm{R}_f = \frac{\lambda L}{12.1 D^5} \qquad \lambda = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{K}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right)\right]^2} \qquad \mathrm{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu} \qquad \nu = \frac{497 \cdot 10^{-6}}{(T + 42.5)^{1.5}}$$


أشكال أنظمة التوزيع
النظام التسلسلي
نظام الشجرة
نظام الحلقات
النظام المختلط

النظام التسلسلي

- أجزاء النظام
  - مصدر مائي
  - عدد من العقد الوسيطة تتصل مع:
    - أنبوب تغذية (داخل)
    - أنبوب توزيع (خارج)
  - نهاية وحيدة
  - يتم توزيع المياه على المستهلكين من العقد
  - الأنابيب عناصر ربط لنقل المياه بين العقد



ميزات النظام

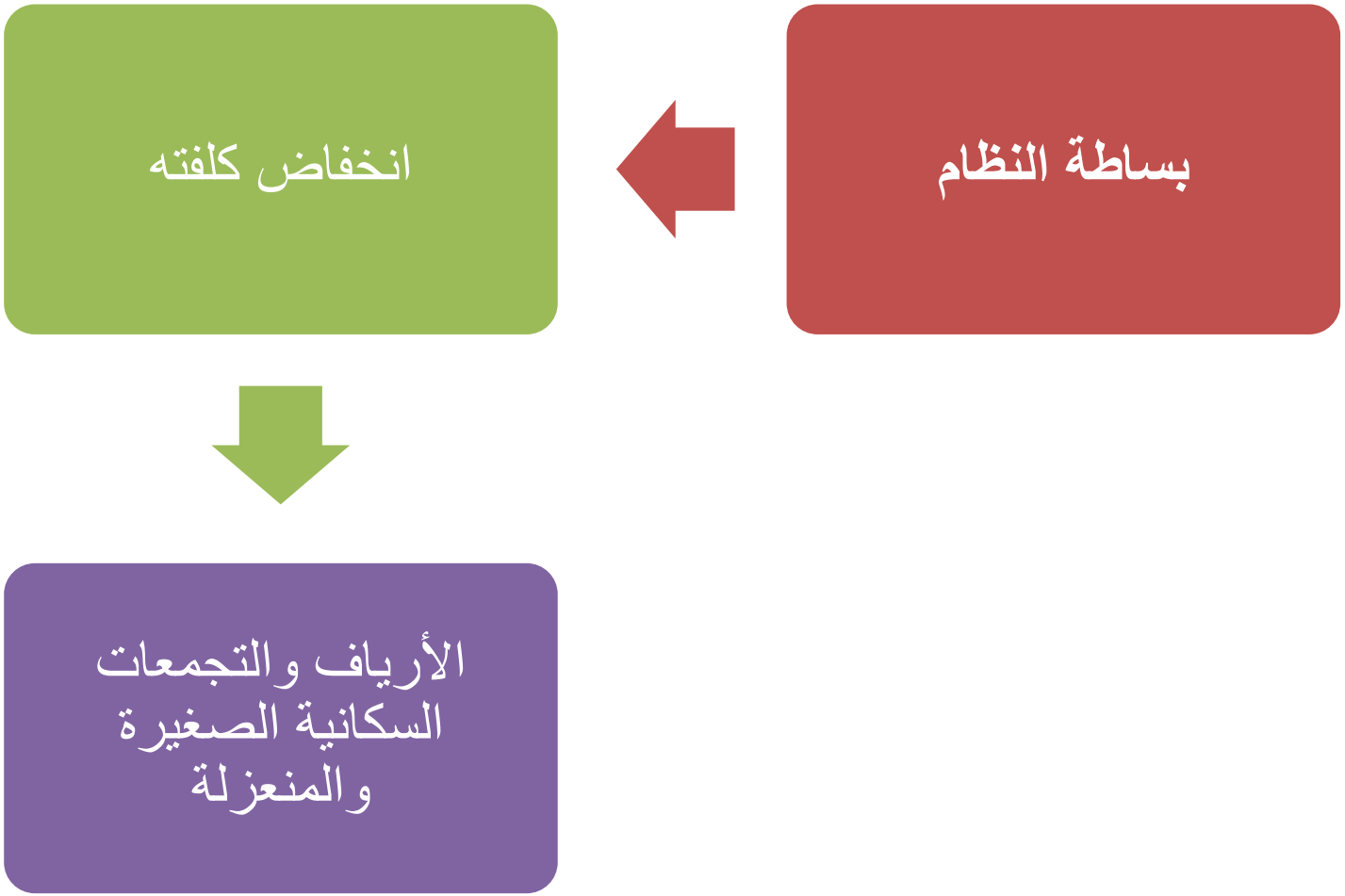
- المزايا

1. أبسط الأنظمة الموجودة
   - لاتوجد فروع ولاحلقات
2. انخفاض الكلفة
3. جهة جريان المياه ثابتة من مصدر المياه باتجاه نهاية النظام

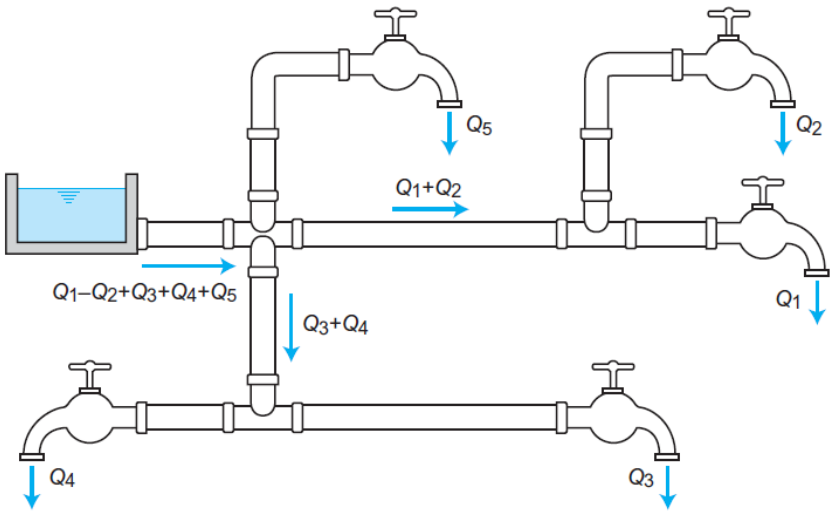
- المساوئ

1. انخفاض موثوقية النظام
   - انقطاع المياه عن الجزء التالي من الشبكة عند حصول عطل في أحد الأنابيب
2. مشاكل تخزين المياه في النهايات الميتة
   - تراكم الرواسب
   - احتمال كبير لنمو الجراثيم
   - تغير الطعم والرائحة
3. توسيع الشبكة مستقبلاً يرتبط بانخفاض الضاغط (خصوصاً في نهايات الشبكة)
   - زيادة أطوال الأنابيب يؤدي إلى زيادة فواقد الاحتكاك
4. تغيرات الاستهلاك تؤدي إلى تذبذبات كبيرة في الضاغط المتوفر
   - تغيرات الغزارة مع ثبات القطر تؤدي لتغير السرعة وبالتالي لتغير فواقد الاحتكاك

استخدام النظام



نظام الشجرة



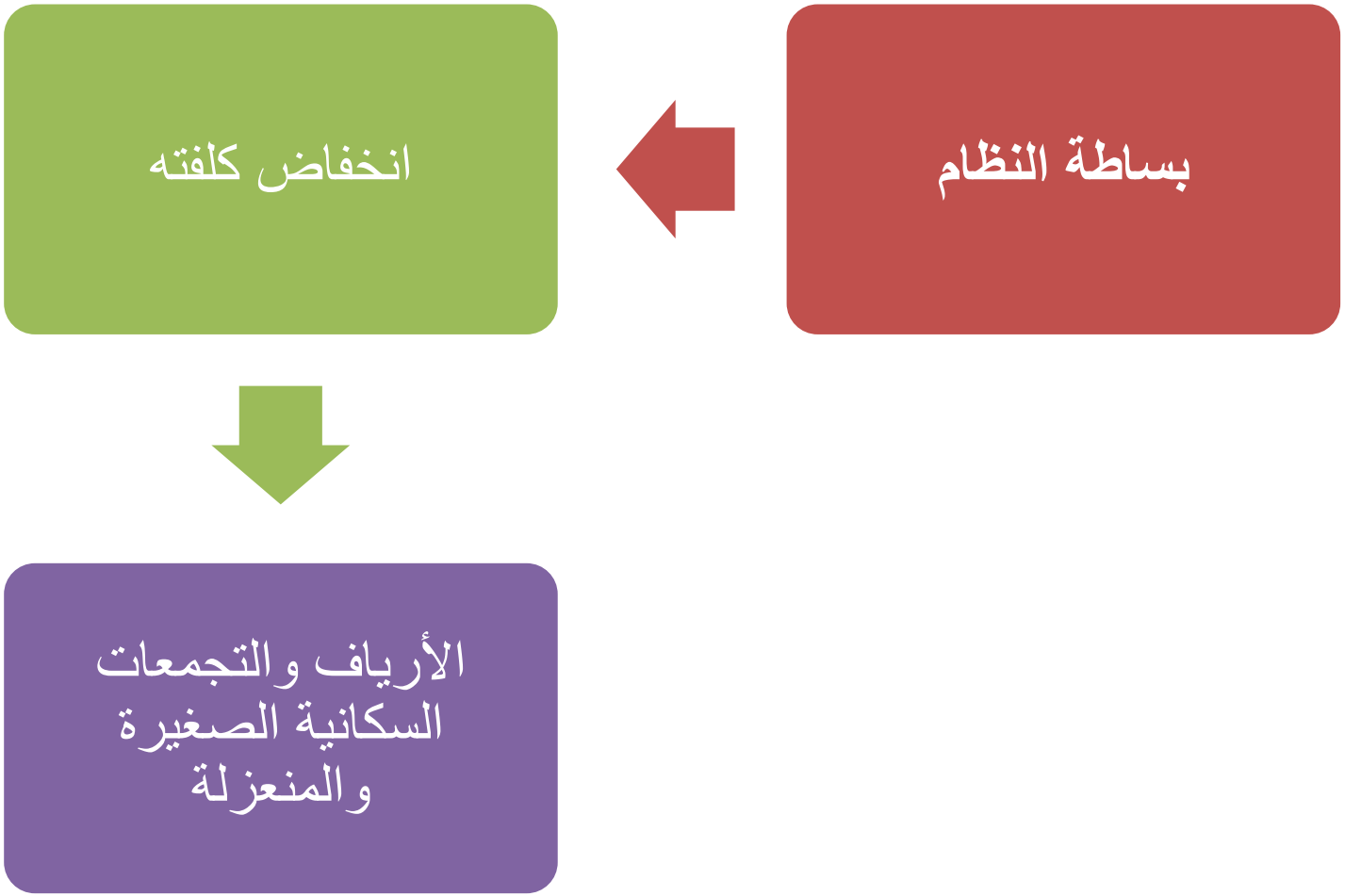
- شكل مطور عن النظام التسلسلي
- يتألف من:
  - مصدر مياه واحد (أو أكثر)
  - عقد وسيطة تتصل كل منها مع
    - أنبوب مصدر واحد فقط
    - أنبوب توزيع أو أكثر
  - عدد من النهايات
  - يتم توزيع المياه على المستهلكين
    - من عقد نهايات أنابيب التوزيع
    - العقد الوسيطة

ميزات النظام

- المزايا
  1. بساطة النظام
     - لاتوجد حلقات
  2. انخفاض الكلفة
  3. جهة جريان المياه ثابتة من مصدر المياه باتجاه نهايات الشبكة
- المساوئ

– نفس مساوئ النظام التسلسلي، يضاف لها زيادة خطر النهايات الميتة بسبب تعدد النهايات

استخدام النظام



تصميم النظام

- حساب أقطار الأنابيب

– لتبسيط الحسابات (جريان مستقر في الأنابيب) يفترض أن مآخذ التغذية للمشتركين (المنتشرة على الأنابيب) تتركز في العقد فقط
  - يفترض أنه لا توجد مآخذ موزعة على الأنابيب
  - تعتبر الأنابيب عناصر ربط بين عقد التغذية

– يتم حساب أقطار الأنابيب:
  - باستخدام مخططات التصميم
    – تحوي الأقطار النظامية فقط
    – تعطي الفواقد مباشرة
  - باستخدام قانون الاستمرار

$$Q = v \cdot A$$

– تدور الأقطار إلى أحد الأقطار النظامية
– يتم حساب الفواقد باستخدام العلاقات المناسبة (D-W, H-W)

- تحسب الغزارات المارة عبر الأنابيب بشكل تراكمي اعتباراً من نهاية الشبكة حتى بدايتها
  - غزارة المياه المارة عبر أنبوب
    - الغزارة الواردة من الأنبوب (الأنابيب في الشبكات الشجرية) التالي بجهة الجريان
    - غزارة عقدة نهاية الأنبوب

    « الغزارة الخارجة من الأنبوب نفسه والتي افترض أنها مركزة في عقدة النهاية
- يتم تحديد قطر كل أنبوب بشكل مستقل
  - يجب أن تحقق سرعة الجريان الحدود الاقتصادية

    $V=1.0\pm0.3$ m/s
- الأقطار النظامية المتوفرة:

500	400	350	300	250	200	150	125	100	80
2000	1800	1600	1400	1200	1000	900	800	700	600

السرع والغزارات الاقتصادية لمختلف أقطار الأنابيب

DN	v m/s	Q l/s	h_v m/km
80	0,80	4,0	10,0
100	0,80	6,3	7,5
125	0,80	9,8	5,8
150	0,85	15,0	5,1
200	0,90	28,3	4,0
250	0,95	46,6	3,7
300	1,00	70,7	2,8
350	1,05	101	2,7
400	1,10	138	2,5
500	1,20	236	2,3
600	1,30	368	2,2
700	1,40	539	2,1
800	1,55	779	2,1
900	1,65	1 150	2,1
1000	1,75	1 375	2,1

حساب الضاغط اللازم لتغذية الشبكة

- يحسب الضاغط اللازم لتغذية الشبكة H_s مع المحافظة على ضاغط أدنى في أي من عقد الشبكة h_{end} بالعلاقة:

$$H_s \uparrow = \sum hi \uparrow + Z_N \uparrow + h_{end}$$

H_s: الضاغط الواجب توفره

Z_N: منسوب العقدة

$\sum hi$: مجموع الفواقد على المسار بين الخزان والعقدة المدروسة

- يكون الضاغط أعظمياً من أجل العقدة الحدية (الأسوأ):
  - التي تحقق أعلى منسوب أوأكبر فواقد (الأبعد)

- يتم حساب الضاغط اللازم لتشغيل الشبكة H_s كالتالي:

1. تحدد العقدة (العقد) الحدية
2. يحدد الضاغط الأدنى الواجب توفره عند أي من عقد الشبكة h_{end}
   - حسب ارتفاع المباني وشروط التشغيل
3. يحدد ارتفاع العقدة (العقد) الحدية في الشبكة Z_N
4. يحسب مجموع الفواقد الطولية والمحلية في أنابيب الشبكة على المسار من بداية الشبكة حتى العقدة المدروسة Σh_i
5. الضاغط اللازم لتغذية الشبكة H_S:

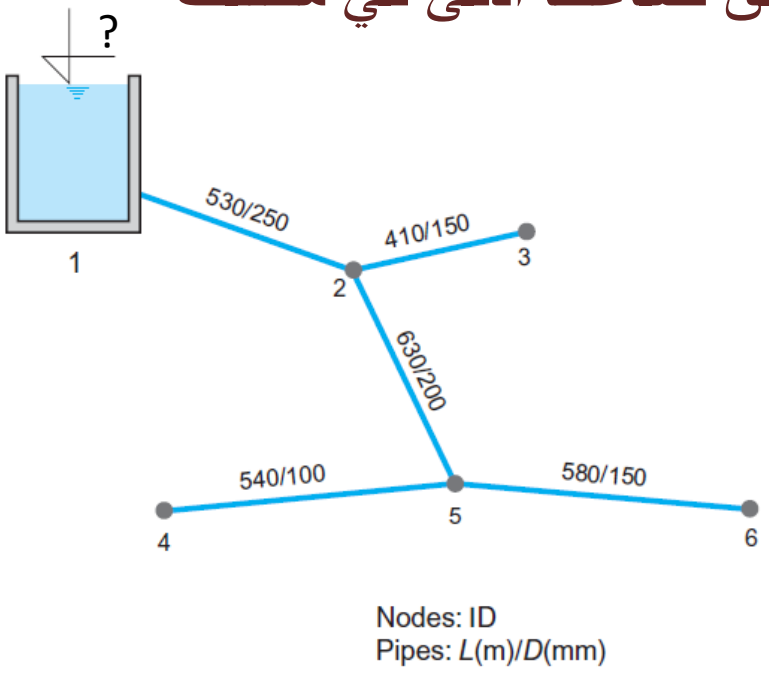
$$H_s = h_{end} + Z_N + \Sigma h_i$$

يؤخذ الضاغط الأكبر عند وجود أكثر من عقدة حدية

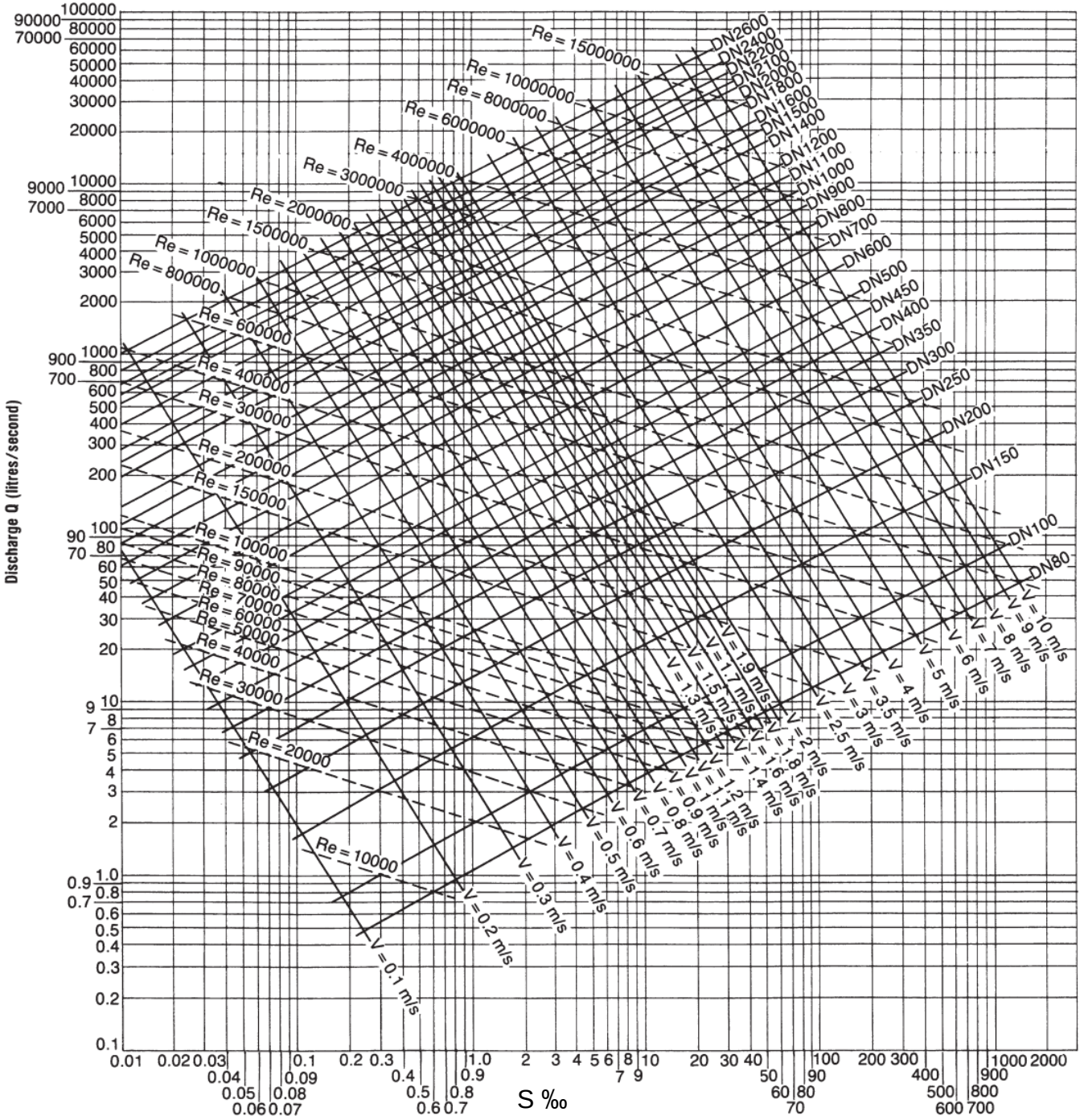
5. يلزم توفر ضاغط H_T على مدخل الشبكة (ارتفاع الخزان أو ضاغط مضخات التغذية) بحيث:

$$H_T \geq H_s$$

- مسألة (3-6):
  - يطلب:
    1. حساب الغزارات المارة عبر أنابيب الشبكة الظاهرة في الشكل
    2. تحديد ارتفاع الخزان الذي يحقق ضاغطاً أدنى في مختلف عقد الشبكة لايقل عن 20 mwc



	1	2	3	4	5	6
Z (msl)	—	12	22	17	25	20
Q (l/s)	−75.6	10.4	22.1	10.2	18.5	14.4


Discharge Q (litres/second)
S ‰
Re = 15000000
Re = 10000000
Re = 8000000
Re = 6000000
Re = 4000000
Re = 3000000
Re = 2000000
Re = 1500000
Re = 1000000
Re = 800000
Re = 600000
Re = 400000
Re = 300000
Re = 200000
Re = 150000
Re = 100000
Re = 90000
Re = 80000
Re = 70000
Re = 60000
Re = 50000
Re = 40000
Re = 30000
Re = 20000
Re = 10000
DN2600
DN2400
DN2200
DN2100
DN2000
DN1800
DN1600
DN1500
DN1400
DN1200
DN1100
DN1000
DN900
DN800
DN700
DN600
DN500
DN450
DN400
DN350
DN300
DN250
DN200
DN150
DN100
DN80
V = 10 m/s
V = 9 m/s
V = 8 m/s
V = 7 m/s
V = 6 m/s
V = 5 m/s
V = 4 m/s
V = 3.5 m/s
V = 3 m/s
V = 2.5 m/s
V = 2 m/s
V = 1.9 m/s
V = 1.7 m/s
V = 1.6 m/s
V = 1.5 m/s
V = 1.4 m/s
V = 1.3 m/s
V = 1.2 m/s
V = 1.1 m/s
V = 1 m/s
V = 0.9 m/s
V = 0.8 m/s
V = 0.7 m/s
V = 0.6 m/s
V = 0.5 m/s
V = 0.4 m/s
V = 0.3 m/s
V = 0.2 m/s
V = 0.1 m/s

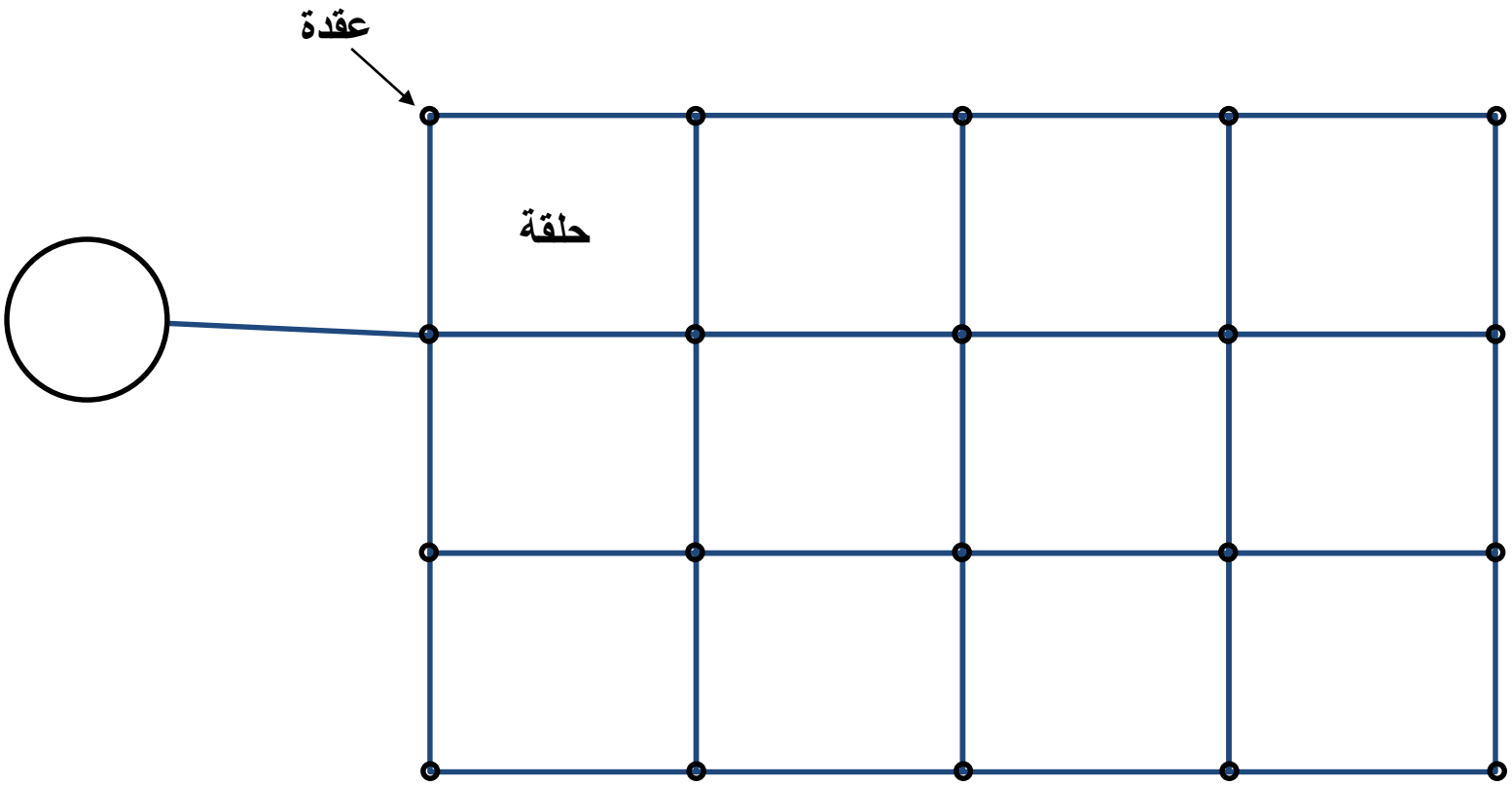
نظام الحلقات

يتألف النظام

- من مجموعة نقاط استهلاك (عقد)
- تغذيها المياه القادمة من عدة أنابيب
- ليس من أنبوب واحد كما في الأنظمة السابقة

تتألف شبكة التوزيع من مجموعة أنابيب تتقاطع مشكلة

- حلقات متجاورة Loops
- عقد تغذية Nods


عقدة
حلقة

يمكن لأي أنبوب تلقي المياه من أحد طرفيه

تتغير جهة جريان المياه في كل من أنابيب الشبكة حسب تغيرات الاستهلاك

قطع المياه عن أحد أنابيب الشبكة لايؤثر على عملها

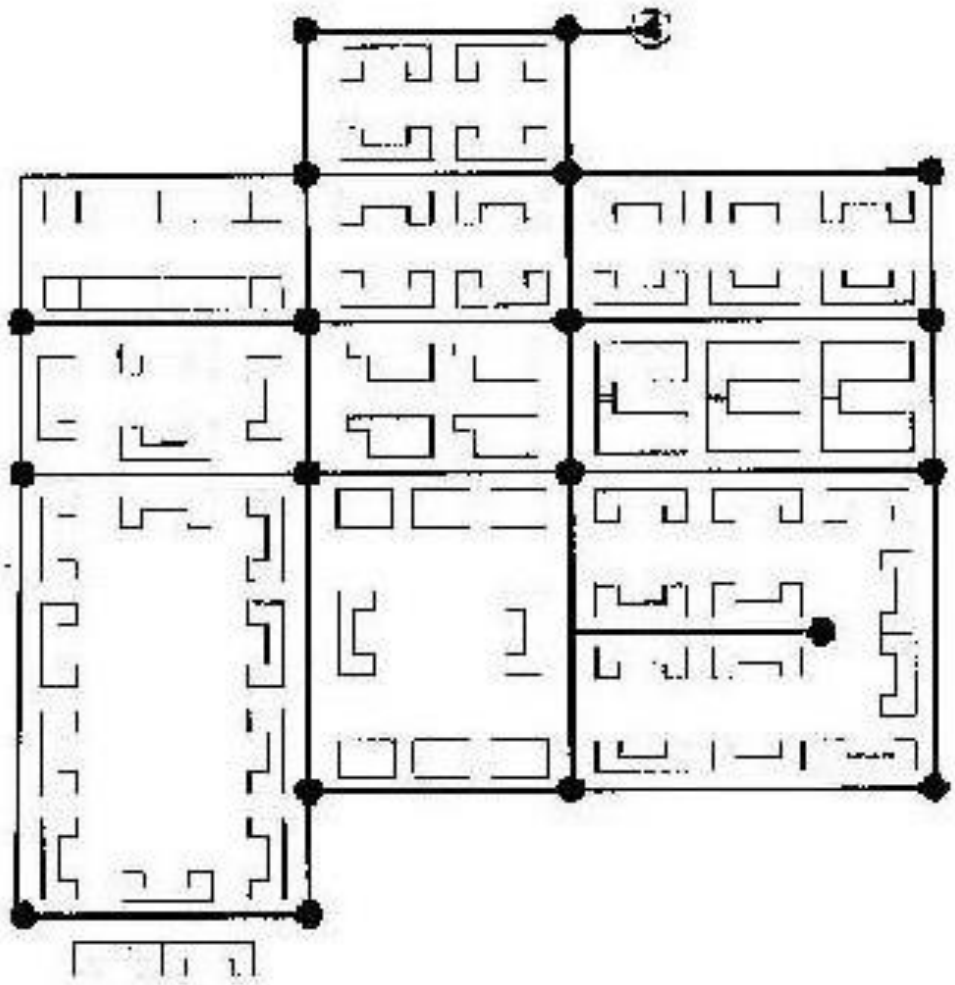
موثوقية النظام عالية

تتألف الشبكة عادة من عدد من الحلقات الرئيسة

- التباعد بين أنابيبها لايزيد على 1000 m (600 m عادة).
- أقطار أنابيبها لاتقل عن 80 mm.

تتشكل بين الحلقات الرئيسة حلقات فرعية

- أطوال أنابيبها بحدود 200 m
- يتصل كل من أنابيبها مع أنبوبين رئيسين
- يتم تغذيتها مباشرة من أنابيب الشبكة الرئيسة



ميزات النظام

- المزايا:

1. عدم وجود نهايات ميتة
   - يمكن أن تغير المياه اتجاهها ضمن أنابيب الشبكة
   - لاتوجد مشكلة تخزين مياه
2. موثوقية النظام عالية
   - لايؤثر انقطاع المياه في أحد أجزاء الشبكة على التغذية في بقية أجزائها
3. تغيرات الاستهلاك لاتؤدي إلى تغيرات كبيرة في الضغط في نقاط التغذية

- المساوئ
  1. ارتفاع الكلفة الإنشائية
  2. ارتفاع كلفة التشغيل
  3. تعقيد تصميم وإنشاء الشبكة

- تزود أنابيب الشبكة عند عقدها المختلفة بصمامات لقطع المياه
  - قطع المياه عن جزء من الشبكة عند حصول أعطال
    - الصيانة والإصلاح في جزء من الشبكة دون التأثير على تغذية بقية قطاعات الشبكة
  - عددها حول كل عقدة n يعطى بالعلاقة

$$n = N - 1$$

  - N: عدد الأنابيب المتصلة بالعقدة

استخدام النظام

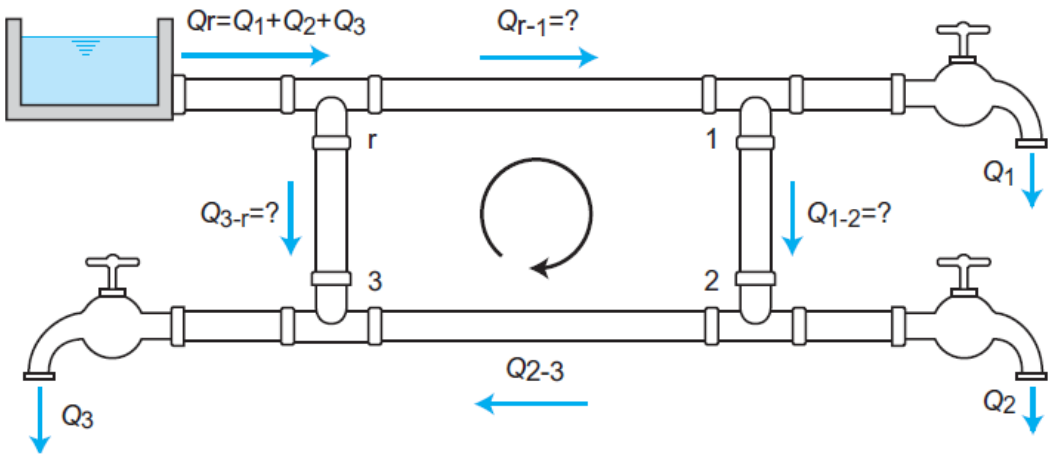
موثوقية النظام

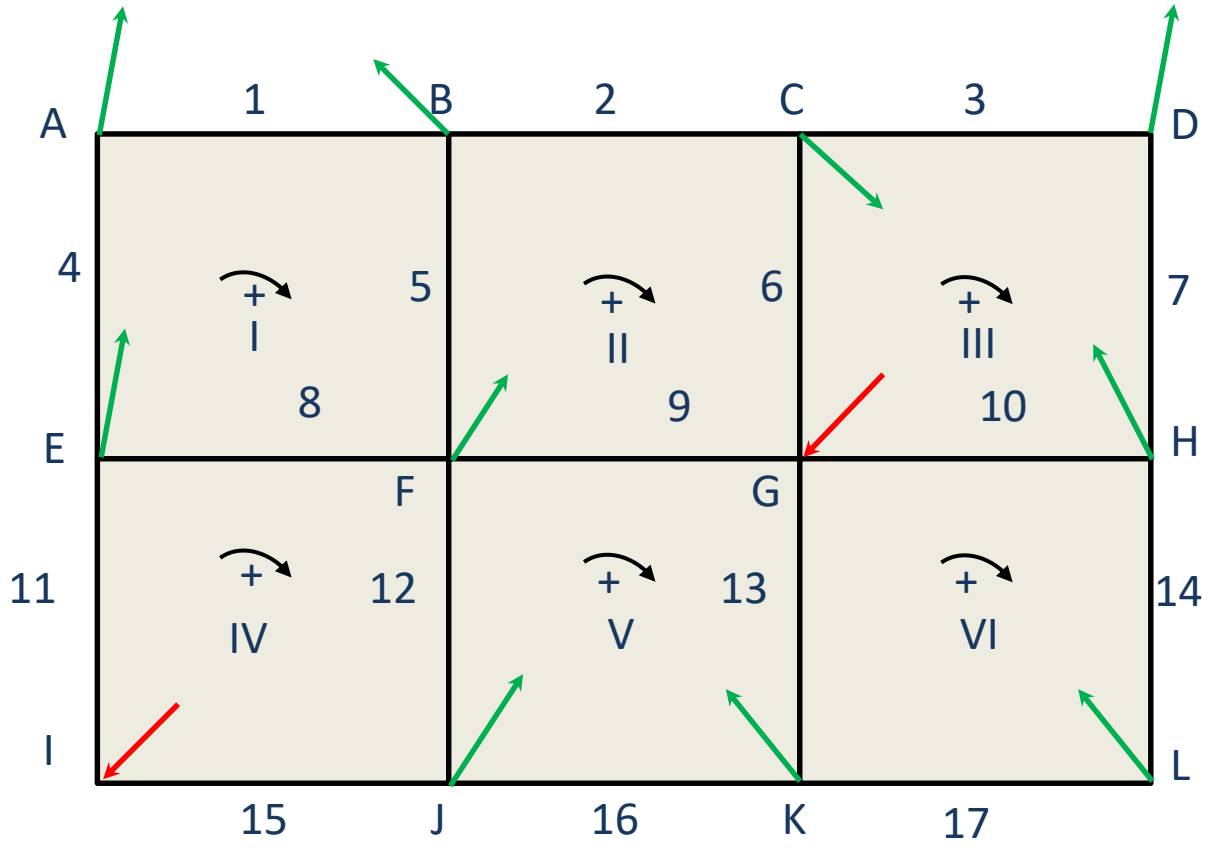
تعقيد النظام وارتفاع كلفته

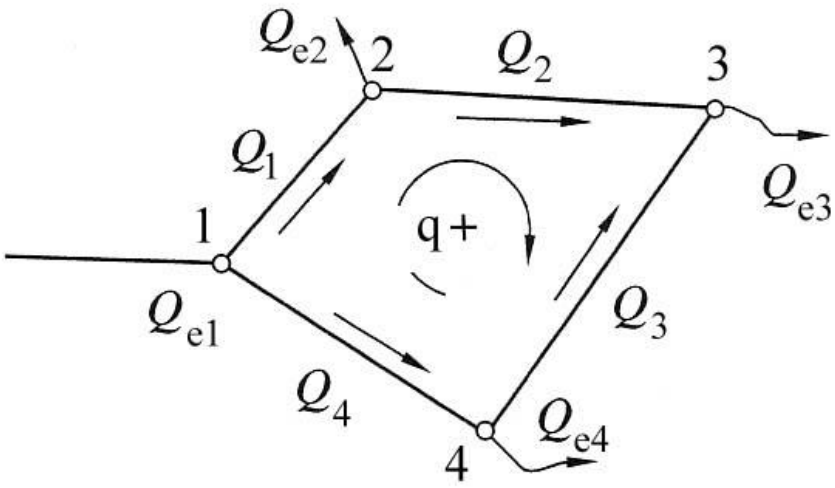
ينتشر استخدام النظام في التجمعات الكبيرة والمتوسطة

طريقة هاردي كروس لحساب الشبكات الحلقية

- فرضيات الطريقة
  - مجموع الغزارات في أي عقدة يساوي الصفر
    - الغزارات الداخلة موجبة
    - الغزارات الخارجة سالبة
  - الضاغط في أي حلقة هو نفسه مهما اختلفت طريق حسابه
  - تعتبر جهة دوران عقارب الساعة موجبة




A
1
B
2
C
3
D
4
5
6
7
I
II
III
8
9
10
E
F
G
H
11
12
13
14
IV
V
VI
I
15
J
16
K
17
L



- توزع الغزارات الداخلة والخارجة من العقد على الأنابيب بأي شكل نختاره بحيث تبقى العقد متوازنة

$$\sum_{i=0}^{n} q_i = 0$$

n: عدد الأنابيب

- تحدد الفواقد ضمن كل أنبوب
- يتم التحقق من مجموع الفواقد ضمن كل حلقة
- خلال توزيع الغزارات على الأنابيب تم ارتكاب خطأ قدره:

$$\Delta = -\frac{\Sigma h_i}{2 \cdot \Sigma \frac{h_i}{Q_{i0}}}$$

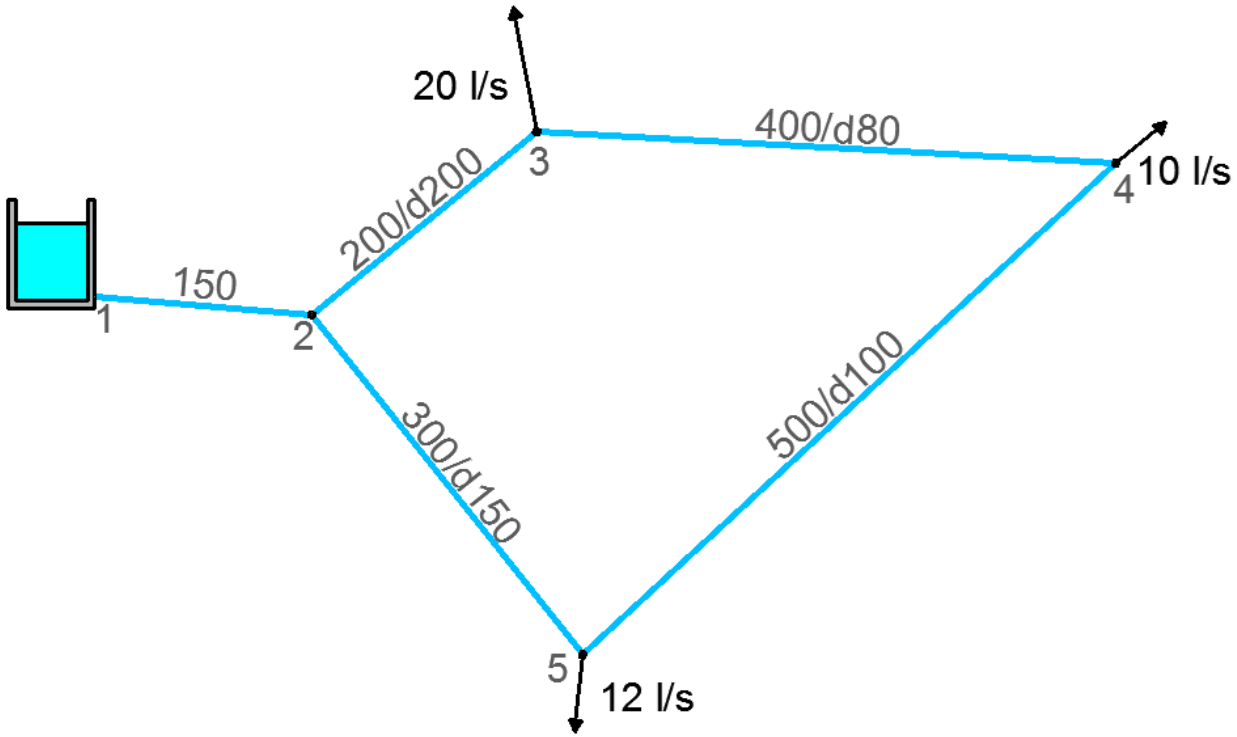
– عند استخدام علاقة هازن-ويليامز نستعيض عن 2 في مقام الكسر بقيمة 1.85 ويصبح التصحيح:

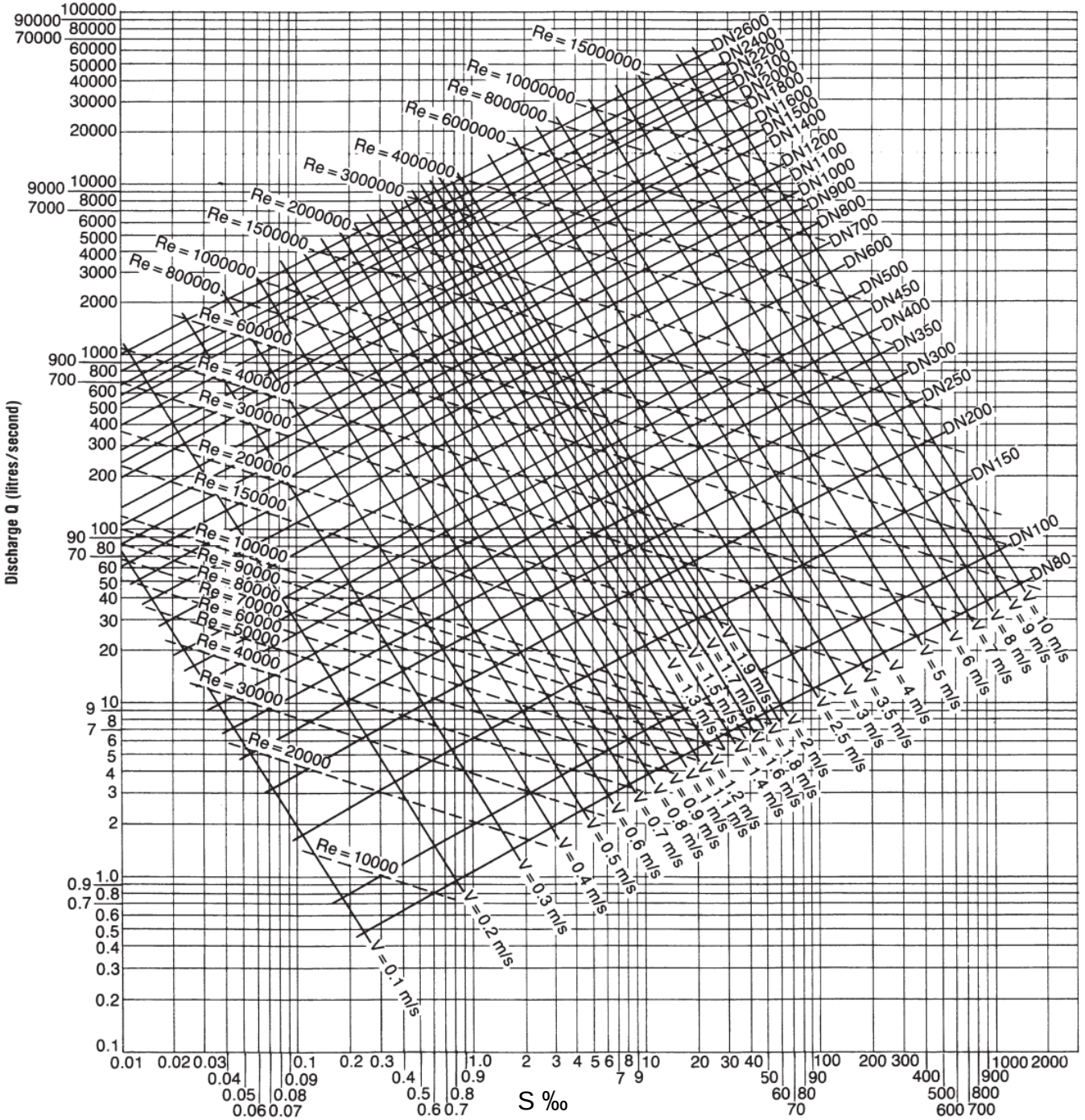
$$\Delta = -\frac{\sum h_i}{1.85 \cdot \sum \frac{h_i}{Q_{i0}}}$$

- يضاف التصحيح على الغزارات الافتراضية (جمع جبري) فنحصل على الغزارات المصححة
- نكرر الحساب حتى الحصول على تصحيح $\Delta \leq 10\% Q_{min}$
  – حيث Q_{min}: الغزارة الصغرى المارة عبر أنابيب الشبكة
- تسمى كل عملية حساب تصحيح دورة
- يعتمد عدد دورات التصحيح الواجب إجراؤها على مدى دقة الافتراضات الأولية للغزارات ضمن الأنابيب

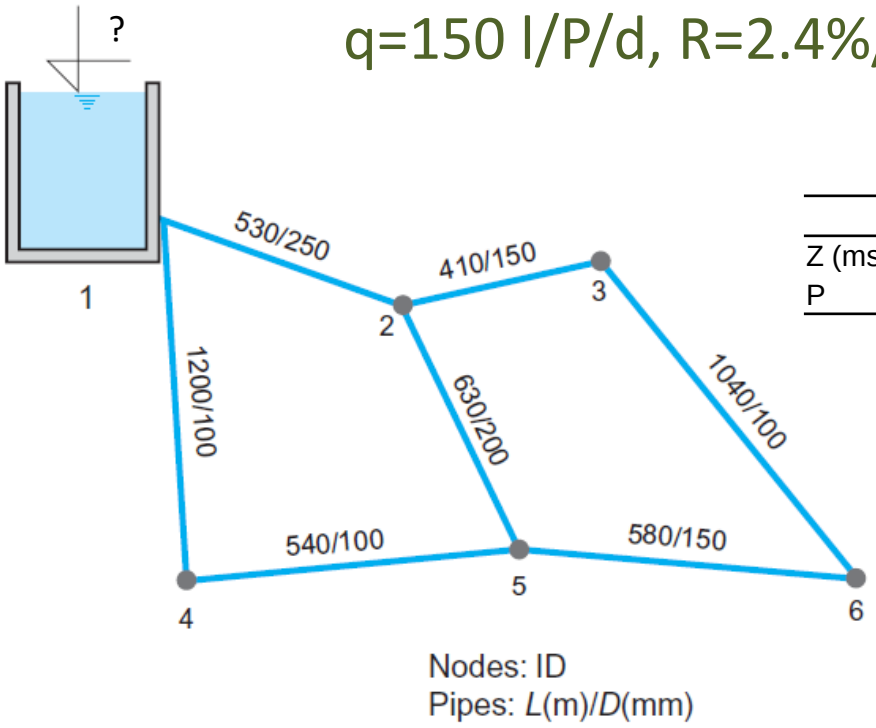
- مسألة (3-7):

– يطلب حساب الغزارات المارة ضمن أنابيب الشبكة الموضحة في الشكل التالي، والضاغط في عقد الشبكة، علماً بأن H_2=70 m

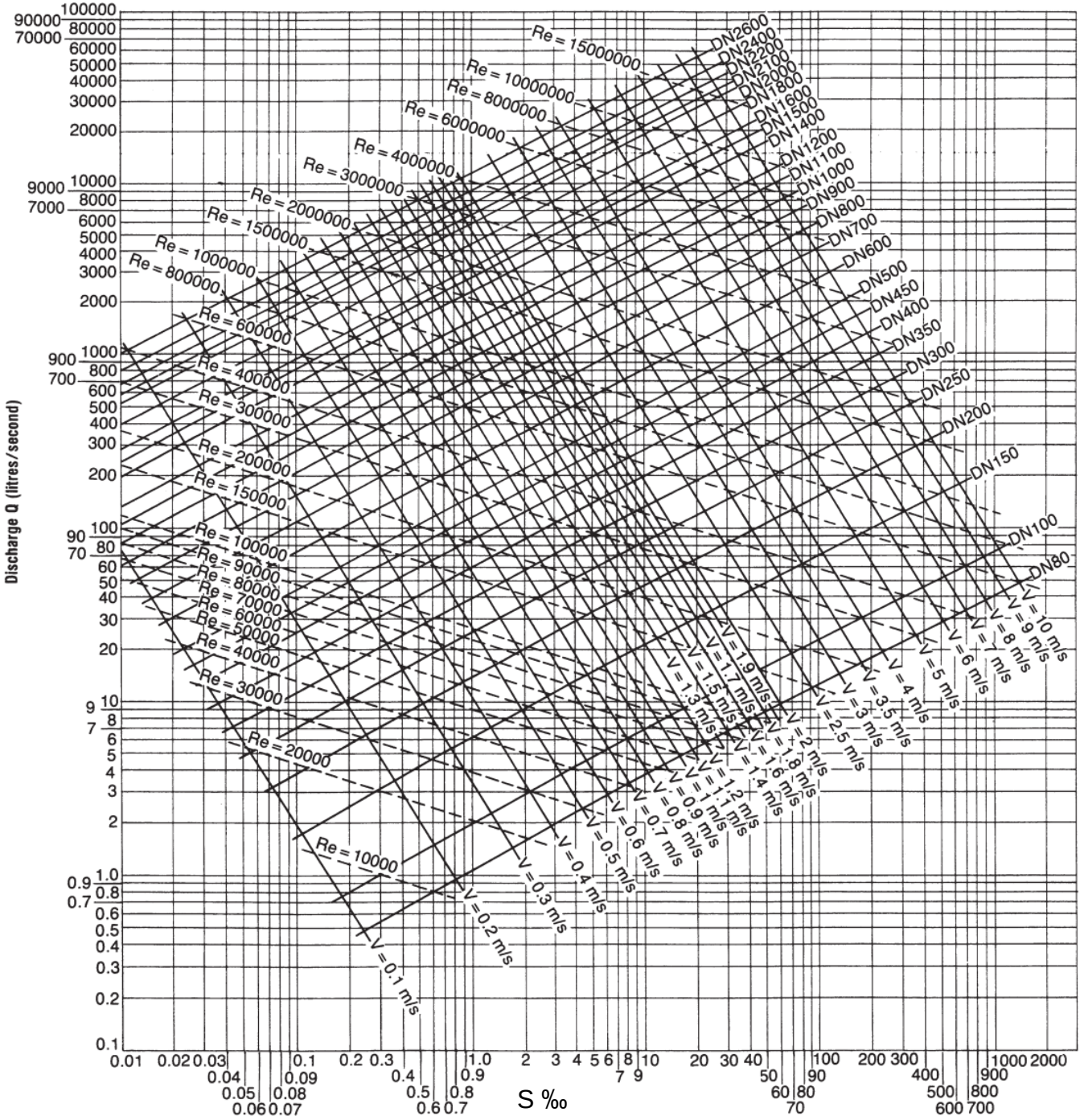



Discharge Q (litres/second)
S ‰
Re = 15000000
Re = 10000000
Re = 8000000
Re = 6000000
Re = 4000000
Re = 3000000
Re = 2000000
Re = 1500000
Re = 1000000
Re = 800000
Re = 600000
Re = 400000
Re = 300000
Re = 200000
Re = 150000
Re = 100000
Re = 90000
Re = 80000
Re = 70000
Re = 60000
Re = 50000
Re = 40000
Re = 30000
Re = 20000
Re = 10000
DN2600
DN2400
DN2200
DN2100
DN2000
DN1800
DN1600
DN1500
DN1400
DN1200
DN1100
DN1000
DN900
DN800
DN700
DN600
DN500
DN450
DN400
DN350
DN300
DN250
DN200
DN150
DN100
DN80
V = 10 m/s
V = 9 m/s
V = 8 m/s
V = 7 m/s
V = 6 m/s
V = 5 m/s
V = 4 m/s
V = 3.5 m/s
V = 3 m/s
V = 2.5 m/s
V = 2 m/s
V = 1.9 m/s
V = 1.7 m/s
V = 1.6 m/s
V = 1.5 m/s
V = 1.4 m/s
V = 1.3 m/s
V = 1.2 m/s
V = 1.1 m/s
V = 1 m/s
V = 0.9 m/s
V = 0.8 m/s
V = 0.7 m/s
V = 0.6 m/s
V = 0.5 m/s
V = 0.4 m/s
V = 0.3 m/s
V = 0.2 m/s
V = 0.1 m/s

- مسألة (3-8):
  - من أجل الجملة الظاهرة في الشكل يطلب تحديد الغزارت المارة من أنابيب الشبكة بعد 25 سنة، وتحديد ارتفاع الخزان اللازم بحيث لايقل الضاغط في أي عقدة عن 20 m
  - عدد السكان في كل عقدة ومناسيب العقد معطى في الجدول
  - $q=150$ l/P/d, $R=2.4\%/a$, $Pf_{s,max}=1.5$, $Pf_{h,max}=2.0$



	1	2	3	4	5	6
Z (msl)	-	12	22	17	25	20
P	-	1105	2350	1085	1965	1530


Discharge Q (litres/second)
S ‰
Re = 15000000
Re = 10000000
Re = 8000000
Re = 6000000
Re = 4000000
Re = 3000000
Re = 2000000
Re = 1500000
Re = 1000000
Re = 800000
Re = 600000
Re = 400000
Re = 300000
Re = 200000
Re = 150000
Re = 100000
Re = 90000
Re = 80000
Re = 70000
Re = 60000
Re = 50000
Re = 40000
Re = 30000
Re = 20000
Re = 10000
DN2600
DN2400
DN2200
DN2100
DN2000
DN1800
DN1600
DN1500
DN1400
DN1200
DN1100
DN1000
DN900
DN800
DN700
DN600
DN500
DN450
DN400
DN350
DN300
DN250
DN200
DN150
DN100
DN80
V = 0.1 m/s
V = 0.2 m/s
V = 0.3 m/s
V = 0.4 m/s
V = 0.5 m/s
V = 0.6 m/s
V = 0.7 m/s
V = 0.8 m/s
V = 0.9 m/s
V = 1 m/s
V = 1.1 m/s
V = 1.2 m/s
V = 1.3 m/s
V = 1.4 m/s
V = 1.5 m/s
V = 1.6 m/s
V = 1.7 m/s
V = 1.8 m/s
V = 1.9 m/s
V = 2 m/s
V = 2.5 m/s
V = 3 m/s
V = 3.5 m/s
V = 4 m/s
V = 5 m/s
V = 6 m/s
V = 7 m/s
V = 8 m/s
V = 9 m/s
V = 10 m/s

النظام المختلط

- **أكثر الأنظمة انتشاراً**
- يستخدم نظام الحلقات لتغذية الجزء الأساسي من التجمع
- تغذى المناطق البعيدة عن مركز التجمع عن طريق أنابيب متفرعة من الشبكة بشكل نظام تسلسلي أو شجرة
- عند تصميم النظام يمكن اعتبار الشبكات الشجرية نقاط أخذ مياه مركزة في عقد الشبكة الحلقية لتبسيط الحسابات
- ميزات النظام مشتقة من الأنظمة المذكورة سابقاً

- مسألة (3-9):
  - يطلب حساب الغزارات المارة عبر أنابيب الشبكة الموضحة في الشكل بعد 25 سنة وتحديد ارتفاع الخزان Z_T، علماً بأن عدد السكان الحالي معطى في العقد المختلفة على الشكل

$Pf_{m,max}=1.05$; $Pf_{d,max}=1.1$; $Pf_{h,max}=1.5$; R=2.4%; q=150l/p/d