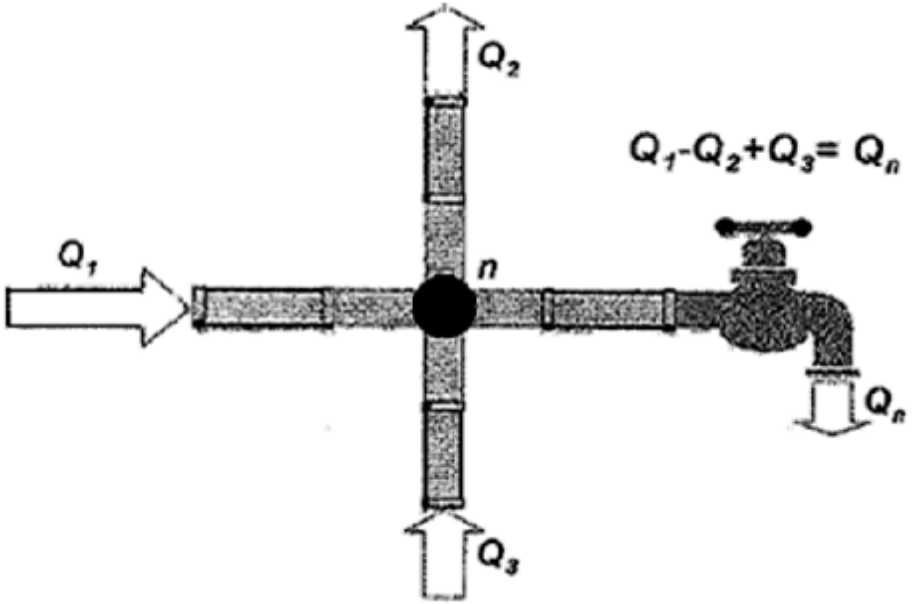
الحساب الهيدروليكي للأنابيب

تعاريف

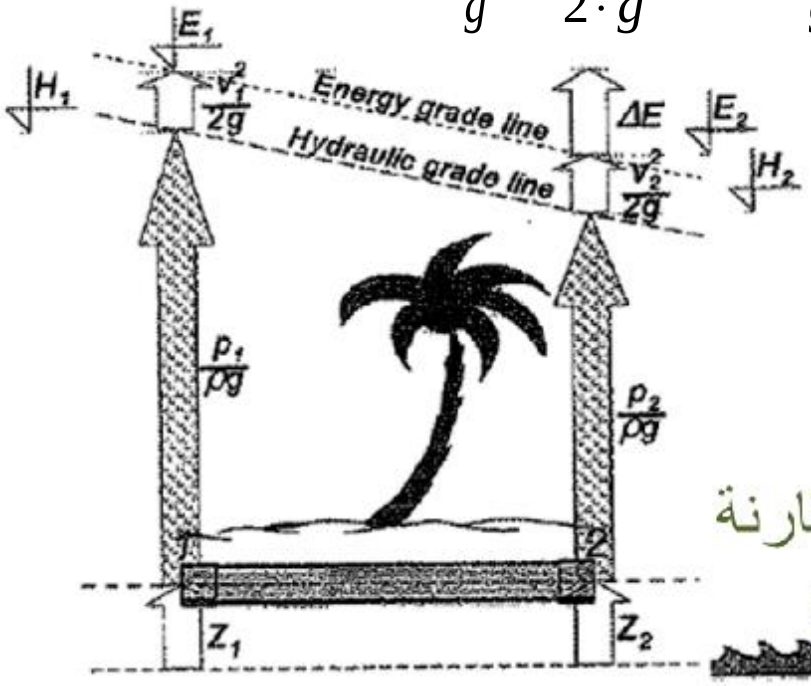
- معادلة الاستمرار:
  - تستخدم من أجل موازنة الغزارات المارة عبر شبكات توزيع المياه
  - إذا كان لدينا عقدة يتفرع عنها n أنبوب يمكن كتابة معادلة الاستمرار كالتالي:



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

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

$$\frac{p_1}{g}+\frac{V_1^2}{2\cdot g}+z_1=\frac{p_2}{g}+\frac{V_2^2}{2\cdot g}+z_2+\Delta E$$



Z : المنسوب (الطاقة الكامنة)

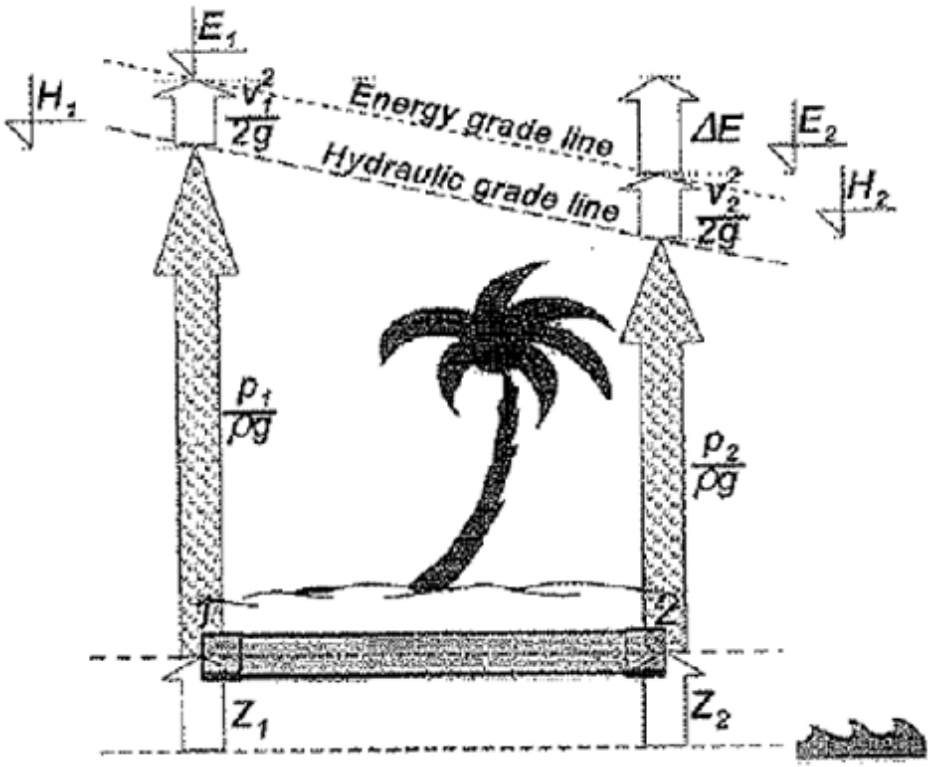
P/g : طاقة الـ طغط

$Z+P/g$: الضاغط البيزومتري

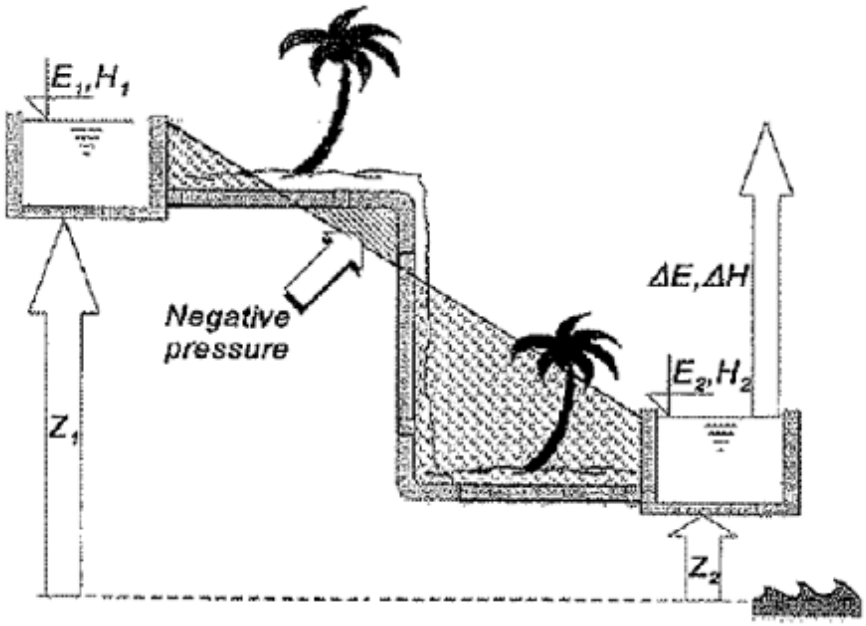
$V^2/2g$: الطاقة الحركية

$Z+P/g+V^2/2g$: الطاقة الكلية

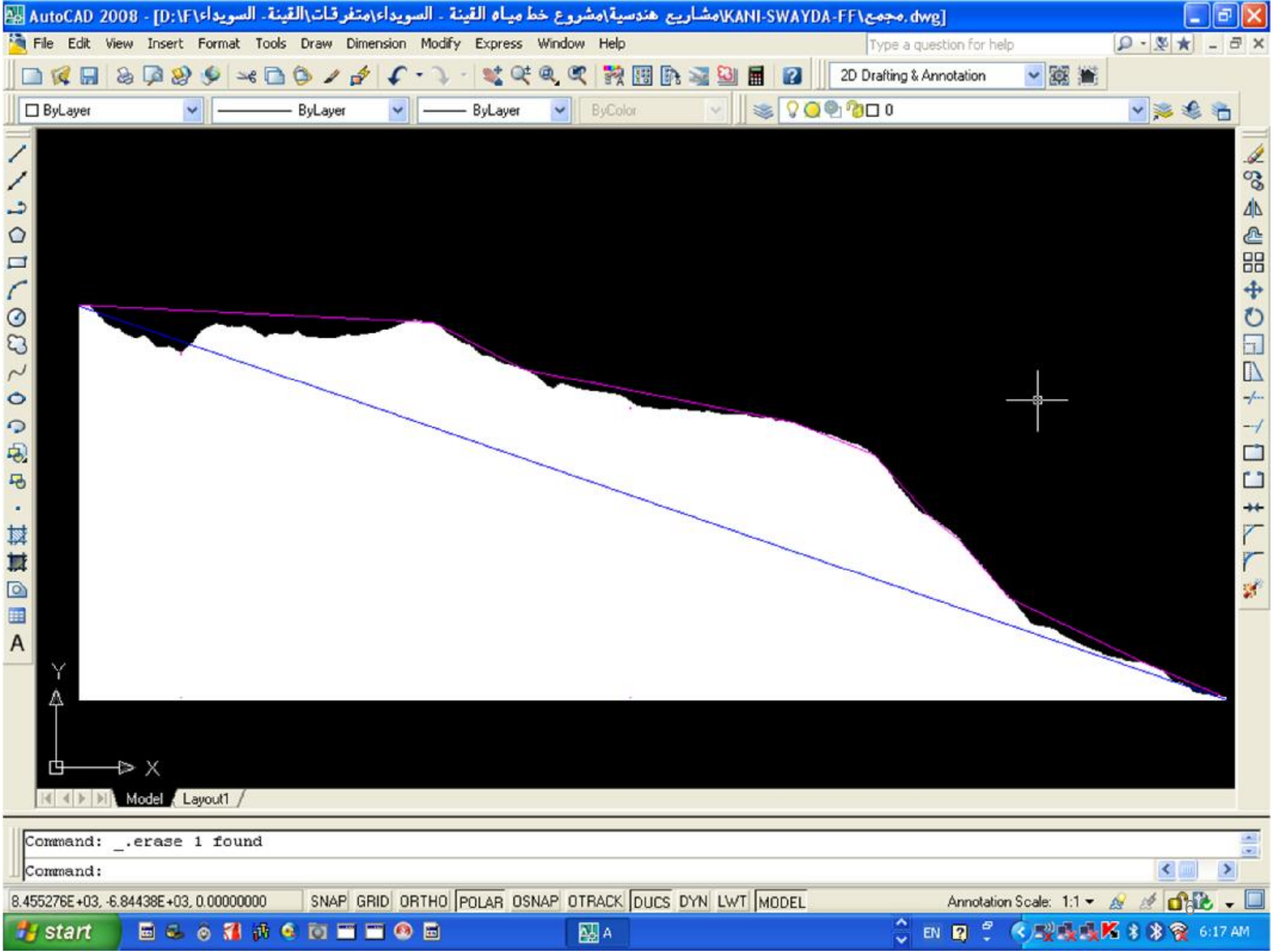
- يتم قياس المنسوب اعتباراً من منسوب مقارنة
- يمكن اعتماد أي منسوب كمنسوب مقارنة



- خط الطاقة (Energy grade line): هو الخط الواصل بين قيم الطاقة الكلية في مقطعين متتاليين من أنبوب
- خط التدرج الهيدروليكي (Hydraulic grade line): (الضاغط البيزومتري) هو الخط الواصل بين قيم الضاغط البيزومتري في مقطعين متتاليين من أنبوب
  - الخطان متوازيان في حالة الجريان المنتظم
  - يمكن إهمال الطاقة الحركية مقارنة بطاقة الضغط، وبالتالي يمكن إهمال الفرق بين الخطين
  - لأسباب عملية يمكن اعتماد خط التدرج الهيدروليكي فقط



- يظهر خط التدرج الهيدروليكي لأنبوب ما:
  - قيمة الضغط المؤثر في الأنبوب
  - جهة الجريان ضمنه
- في معظم الحالات لا يتوازى خط التدرج الهيدروليكي مع محور الأنبوب
  - يمكن أن يتغير ميل محور الأنبوب من مقطع لآخر
  - في الأراضي شديدة الانحدار يمكن أن يهبط خط التدرج الهيدروليكي تحت محور الأنبوب
    - مما يتسبب في تشكل ضغط سالب (أقل من الضغط الجوي)


AutoCAD 2008 - [D:\F\السويداء\مشاريع هندسية\مشروع خط مياه القينة - السويداء\متفرقات\القينة\KANI-SWAYDA-FF\مجمع.dwg]
File Edit View Insert Format Tools Draw Dimension Modify Express Window Help
Type a question for help
2D Drafting & Annotation
ByLayer
ByLayer
ByLayer
ByColor
0
Y
X
Model
Layout1
Command: _.erase 1 found
Command:
8.455276E+03, -6.84438E+03, 0.00000000
SNAP GRID ORTHO POLAR OSNAP OTRACK DUCS DYN LWT MODEL
Annotation Scale: 1:1
start
EN
6:17 AM

- الفواقد الهيدروليكية في الأنابيب: ΔE
  - ويمكن أن تنتج عن:
    - فواقد الاحتكاك h_f
    - الفواقد المحلية h_m
- فواقد الاحتكاك: تعطى بمعادلة دارسي-فايسباخ Darcy-Weisbach

$$h_f = l \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

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:

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

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

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

– أو علاقة Swamee (1976):

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

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

- يمكن أن تعطى قيم K بالجدول التالي

D: القطر الداخلي للأنبوب

Re: رقم رينولدز

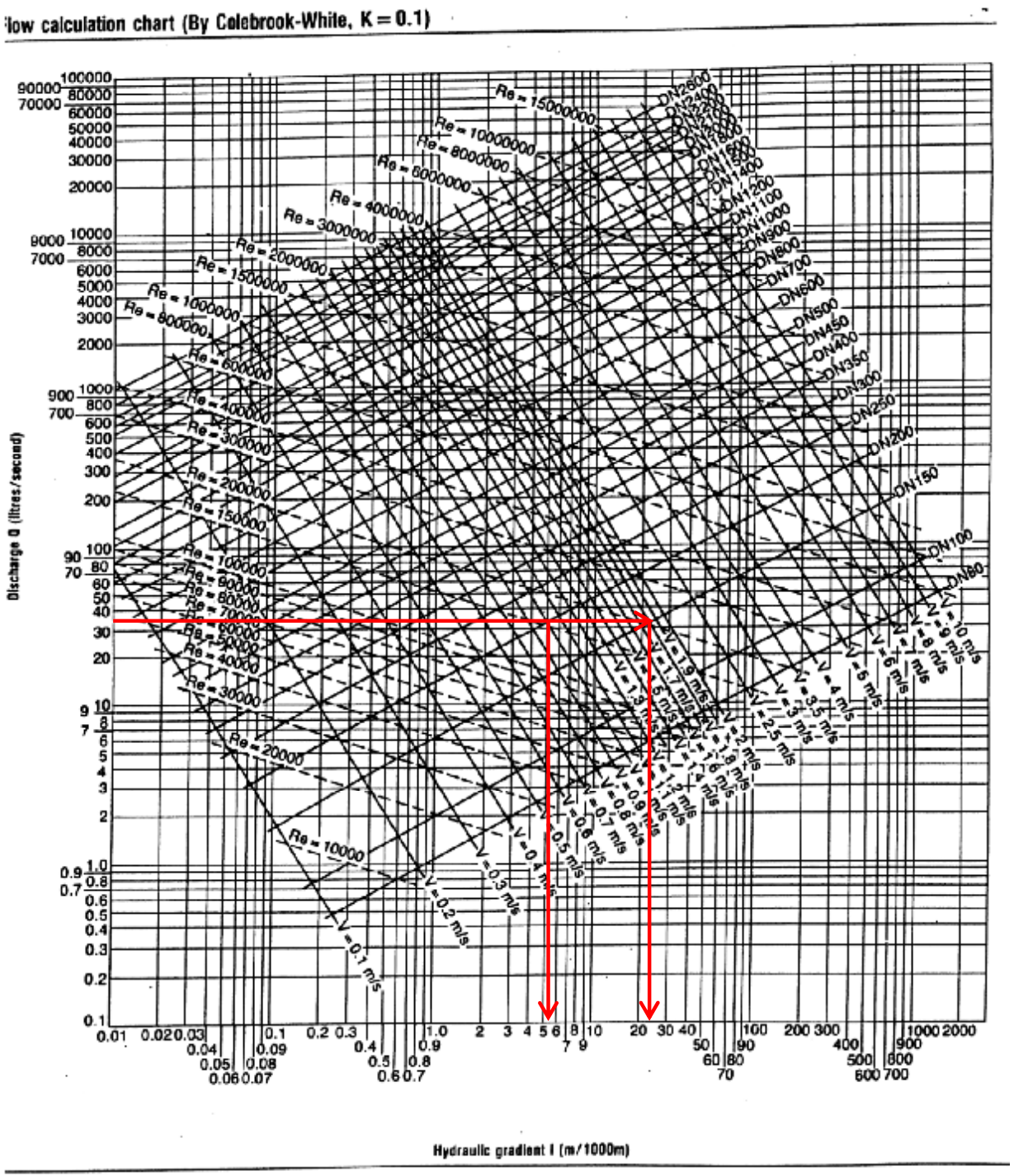
$$\mathrm{Re} = \frac{V \cdot D}{n}$$

ν: اللزوجة التحريكية للمياه

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

The American Water Works Association AWWA (1981)

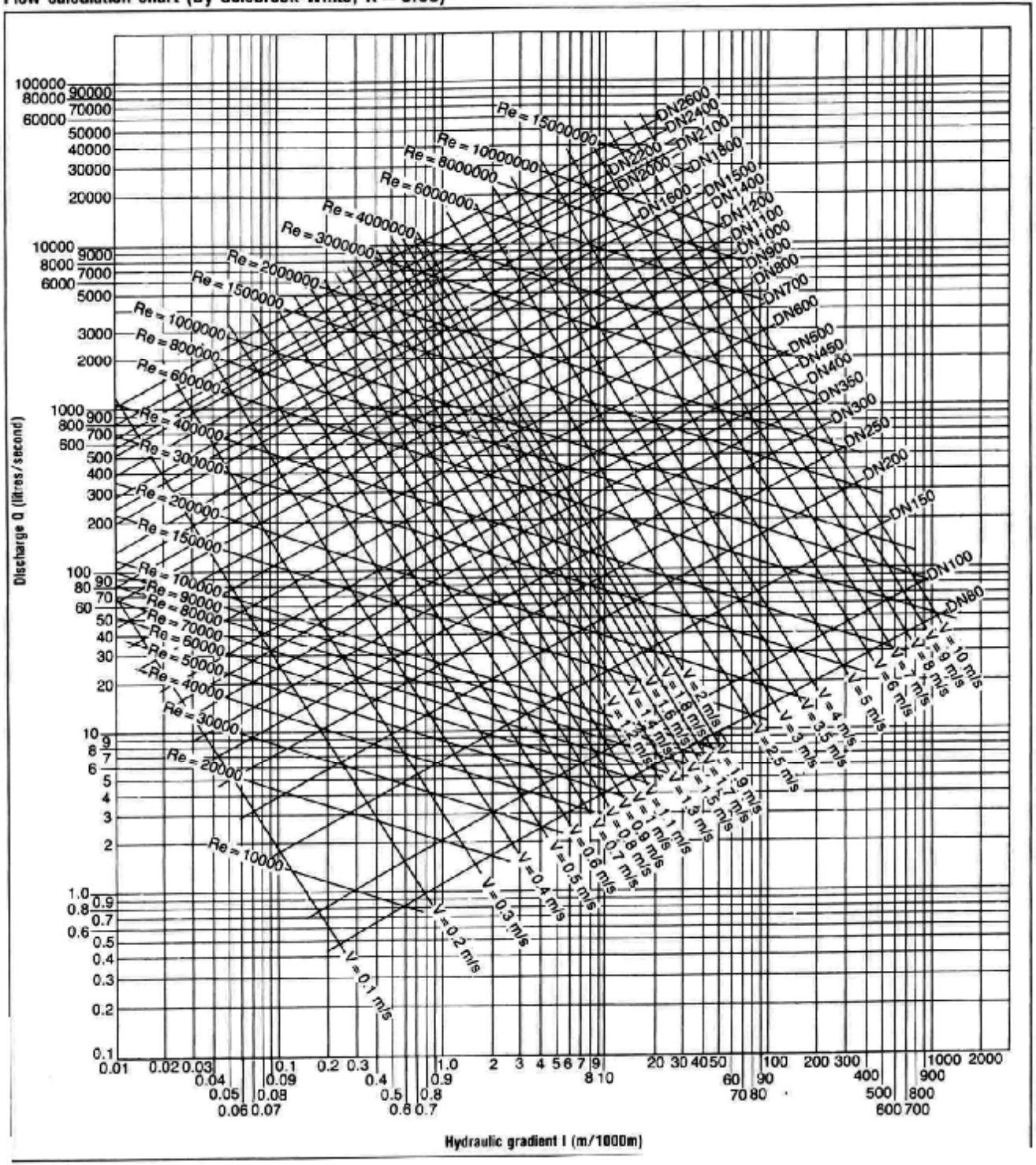
k [mm]	نوع مادة الأنبوب
0.125	فونت مبطن من الداخل
0.25	فونت غير مبطن من الداخل
0.125	حديد مغلفن
0.050	حديد مطاوع
0.05	فولاذ مبطن من الداخل
0.04	فولاذ جديد غير مبطن من الداخل
1.25	فولاذ قديم يكسوه الصدأ
0.04	أسبيستوس غير مبطن
0.04	بلاستيك (بولي ايتيلين+P.V.C)
0.60	بيتون مصبوب في المكان- أملس
2.00	بيتون مصبوب في المكان- خشن



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‰

Flow calculation chart (By Colebrook-White, K = 0.03) Fig. 4-3



- معادلة هازن ويليامز:

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

– C: معامـــل يتعلـــق بنـــوع ومواصفات الأنبوب

- من أجل أنابيب الفونت المرن المبطنـــة بالمونـــة الاســـمنتية C=150
- عند التصميم ينصح باستخدام C=130 حيـث يتضـمن ذلـك مراعـــاة وجـــود فواقـــد فـــي الوصـــلات والقطـــع الملحقـــة والصـمامات، إضـافة لاحتيـاط أمان

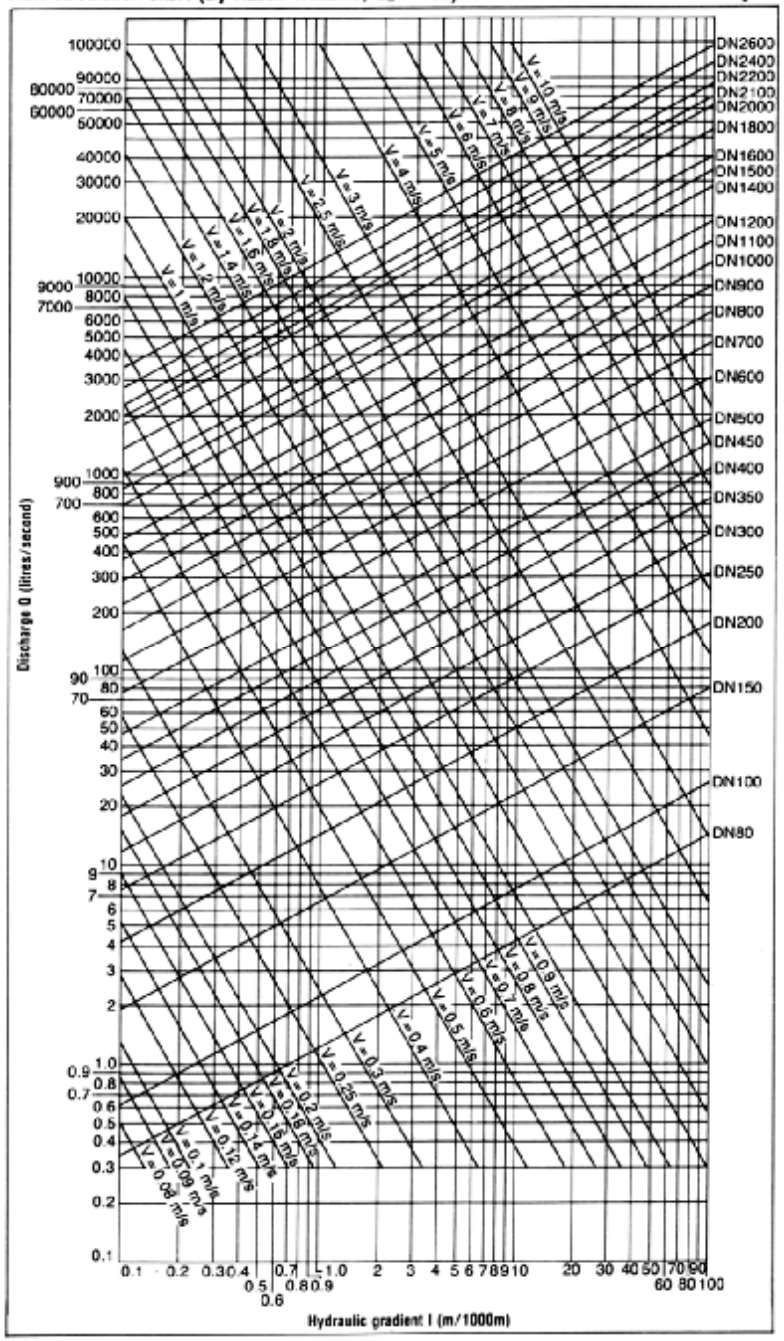
Hazen-Williams Factor, C_{hw}

Material	Diameter [mm]				
	75	150	300	600	1200
Uncoated cast iron	121	125	130	132	134
Coated cast iron	129	133	138	140	141
Uncoated steel	142	145	147	150	150
Coated steel	137	142	145	148	148
Wrought iron	137	143			
Galvanized iron	129	133			
Uncoated AC	142	145	147	150	
Coated AC	147	149	150	152	
Concrete, minimum	69	79	84	90	95
Concrete, maximum	129	133	138	140	141
Prestressed concrete			147	150	150
PVC,brass,lead,copper	147	149	150	152	153
Wavy PVC	142	145	147	150	150
Bitumen/Cement lined	147	149	150	152	153

Hazen-Williams factors -**The American Water Works Association (1981)**

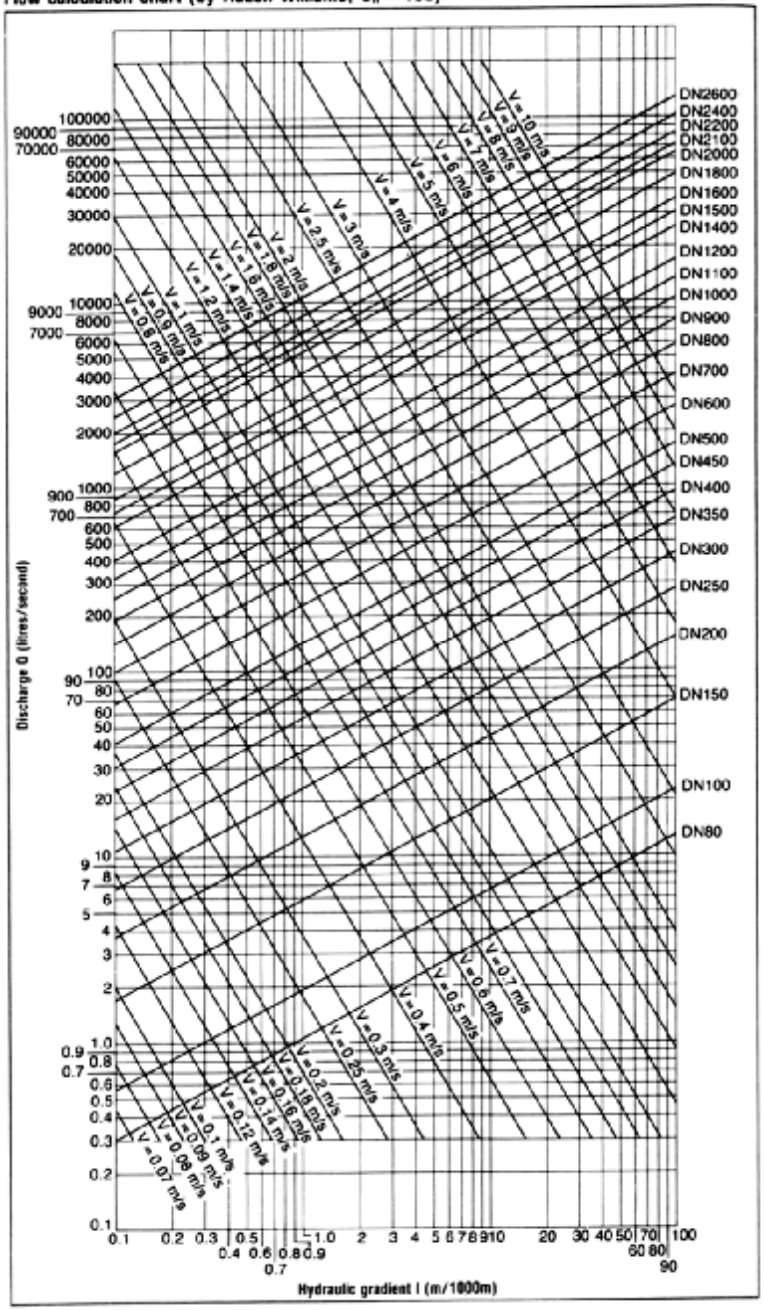
نوع الأنبوب	قطر الأنبوب cm					
	2.5	7.6	15.2	30.5	61	122
فونت غير مبطن أملس وجديد	-	121	125	130	132	134
فونت مبطن أملس وجديد	-	129	133	138	140	141
فونت مبطن– متوسط الاهتراء- عمر 30 سنة	-	83	90	97	102	107
فونت مبطن– متوسط الاهتراء- عمر 60 سنة	-	69	79	85	92	96
حديد مغلفن – أملس وجديد	120	129	133	-	-	-
حديد مطاوع – أملس وجديد	129	137	142	-	-	-
فولاذ مبطن أملس وجديد	129	137	142	145	148	148
فولاذ غير مبطن أملس وجديد	134	142	145	147	150	150
أسبيستوس مبطن أملس ونظيف	-	147	149	150	152	-
أسبيستوس غير مبطن أملس ونظيف	-	142	145	147	150	-
بلاستيك (بولي ايتيلين- PVC)	140	147	149	150	152	153
بيتون مسبق الصنع- أملس ونظيف	-	-	-	147	150	150

Flow calculation chart (By Hazen-Williams, $C_H = 150$) Fig. 4-1

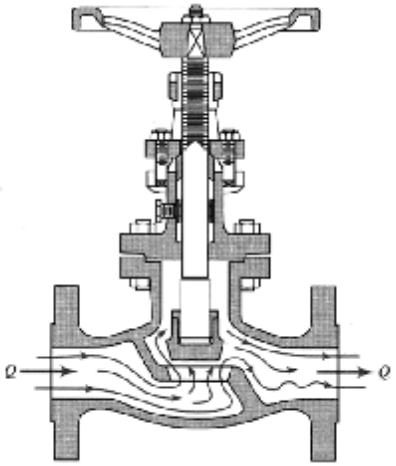


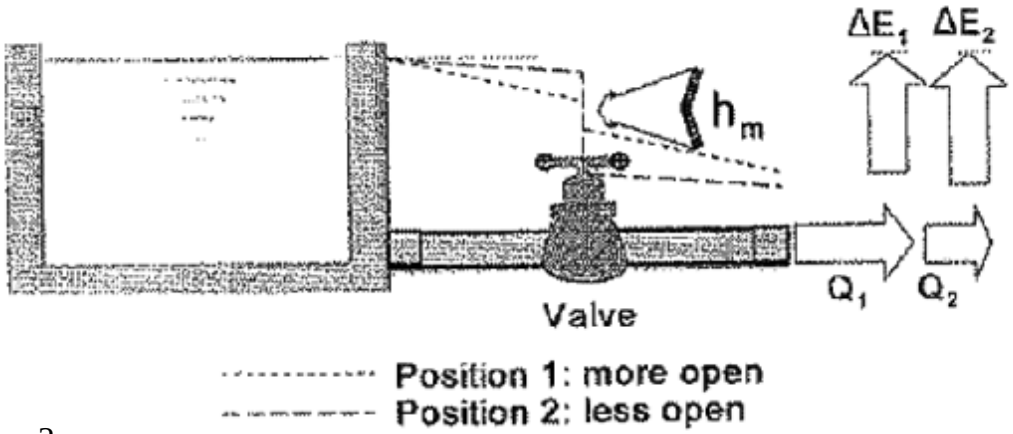
18

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 التدرج الهيدروليكي في منطقة إعاقة الجريان

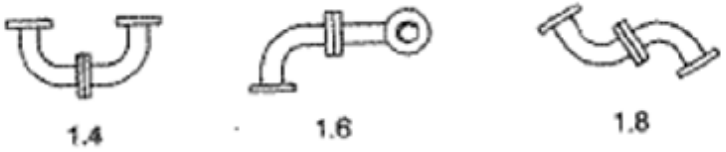




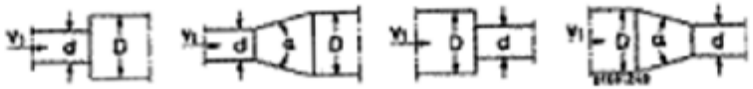
$$h_m = x \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

– 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

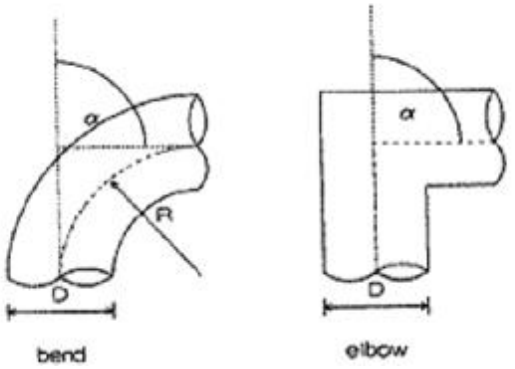


Table 1-AII

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

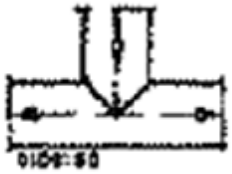
Combinations with 90° knee pieces

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

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

حيث R مقاومة الأنبوب

Darcy-Weisbach

$$R_f = \frac{8\lambda L}{\pi^2 g D^5} = \frac{\lambda L}{12.1 D^5} \quad ; \quad n_f = 2$$

Hazen-Williams

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

الفواقد المحلية R_m:

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

- 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 هازن-ويليامز C=130 k=0.1 mm

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

$$D-W:\ h_f = l \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad l = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{k}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right)\right]^2} \quad \frac{1}{\sqrt{l}} = -2 \cdot \log\left(\frac{k}{3.7 \cdot D} + \frac{5.1286}{\mathrm{Re}^{0.89}}\right)$$

- مسألة 3-2:

يطلب تحديد الغزارة العظمى التي يمكن أن ينقلها أنبوب D=200 mm إذا سار بميل قدره k=1mm 0.005

درجة حرارة الماء 10C°

$$l = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{e}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right)\right]^2} \qquad \mathrm{Re} = \frac{V \cdot D}{n} \qquad n = \frac{497 \cdot 10^{-6}}{(T + 42.5)^{1.5}} \qquad \mathrm{R}_f = \frac{l\,L}{12.1 D^5}$$

هيدروليك الخزانات والمضخات

يتم تأمين الضاغط البيزومتري اللازم لإيصال المياه إلى نقطة الاستهلاك عن طريق

- إنشاء خزان بارتفاع مناسب
- تركيب مضخة بطاقة كافية

- أهم العوامل التي تؤثر على اختيار مكان الخزان وارتفاعه ومواصفات المضخة الواجب اختيارها:

1) الشروط الطبوغرافية للموقع
2) مواقع كل من منطقتي التغذية والاستهلاك
3) تغيرات الاستهلاك مع الزمن
4) سعة النقل الأعظمية (كمية المياه الأعظمية التي يمكن أن ينقلها الأنبوب أو شبكة التوزيع)

- يتم التعبير عن سعة النقل الأعظمية لأنبوب (أو نظام) باستخدام الخط المميز للأنبوب (النظام)
  - العلاقة بين الضاغط المطبق على جملة معينة والغزارة المارة عبرها
- يعبر الخط المميز للأنبوب عن الأمور التالية:
  - قيمة الضغط المطبق عند نقطة التغذية، والذي يسمح للأنبوب بنقل غزارة معينة (تتغير تبعاً للضغط المتبقي عند نقطة الاستهلاك)
  - فرق المنسوب بين نقطتي التغذية والاستهلاك
  - الضاغط الكلي H_s اللازم لتأمين غزارة قدرها Q، يتألف من ضاغط ديناميكي H_{dyn} وضاغط ستاتيكي H_{st}:

$$H_s = H_{st} + H_{dyn}$$

– الضـاغط الـديناميكي هـو الضـاغط الـلازم للتغلـب علـى الفواقـد الطولية والمحلية

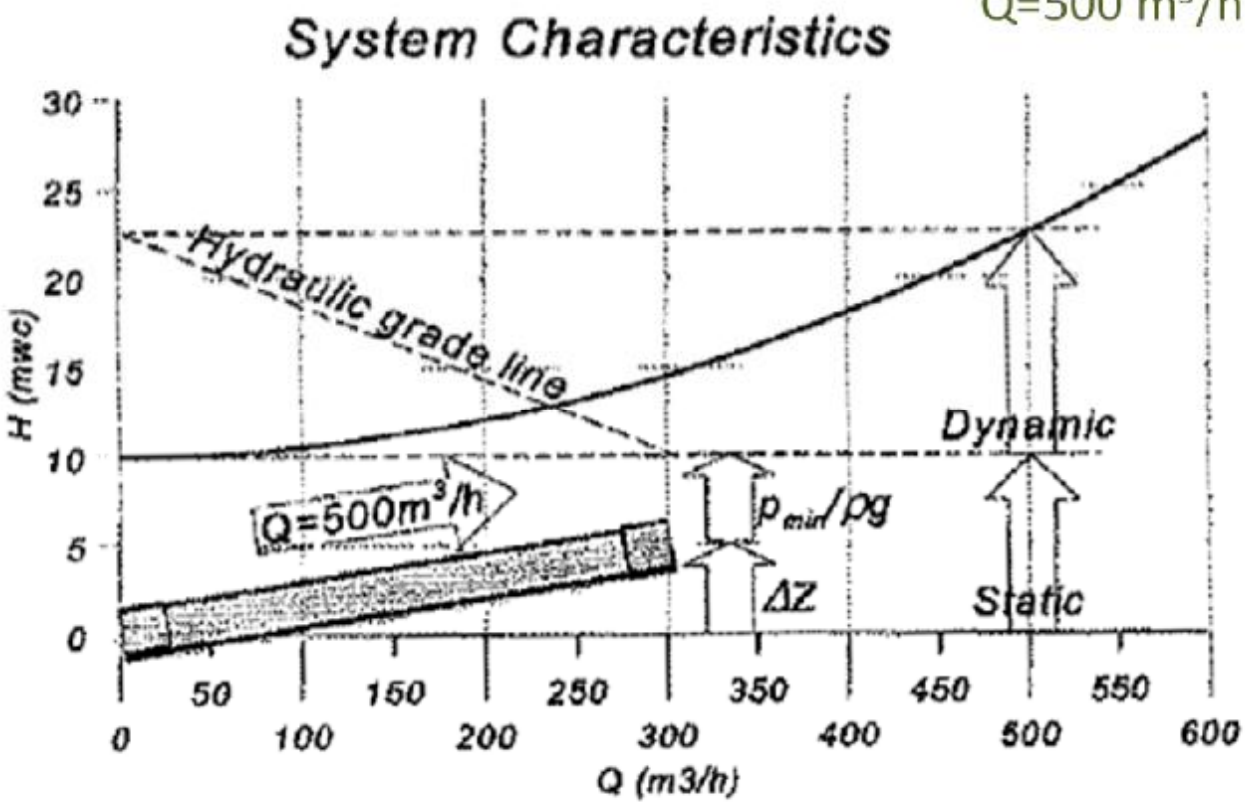
$$H_{dyn} = h_f + h_m = \left(R_f + R_m\right) \cdot Q^2$$

– الضاغط الستاتيكي يتعلق بشكل النظام ولايتعلق بالغزارة المارة عبره، ويتألف من:

- الضغط المتبقي في نهاية الأنبوب عند نقطة الاستهلاك
- فـرق المنسـوب ΔZ بـين بدايـة الأنبـوب (نقطـة التغذيـة) ونهايتـه (نقطـة الاستهلاك)

$$H_{st} = \Delta Z + \frac{p}{g}$$

- من الخط المميز للجملة الموضحة في الشكل المرفق والمؤللفة من أنبوب مائل يتبين التالي:
  - عند تأمين ضغط ستاتيكي في بداية الشبكة قدره H_{st}=10 mwc يتم الحصول على ضغط ستاتيكي متبقي 5 m في نهاية الشبكة، الغزارة المارة Q=0 m^3/h
  - عند تأمين ضاغط في بداية الشبكة قدره 22.5 m يتم الحصول أيضاً على ضغط متبقي قدره 5 m، لكن الغزارة المارة Q=500 m^3/h

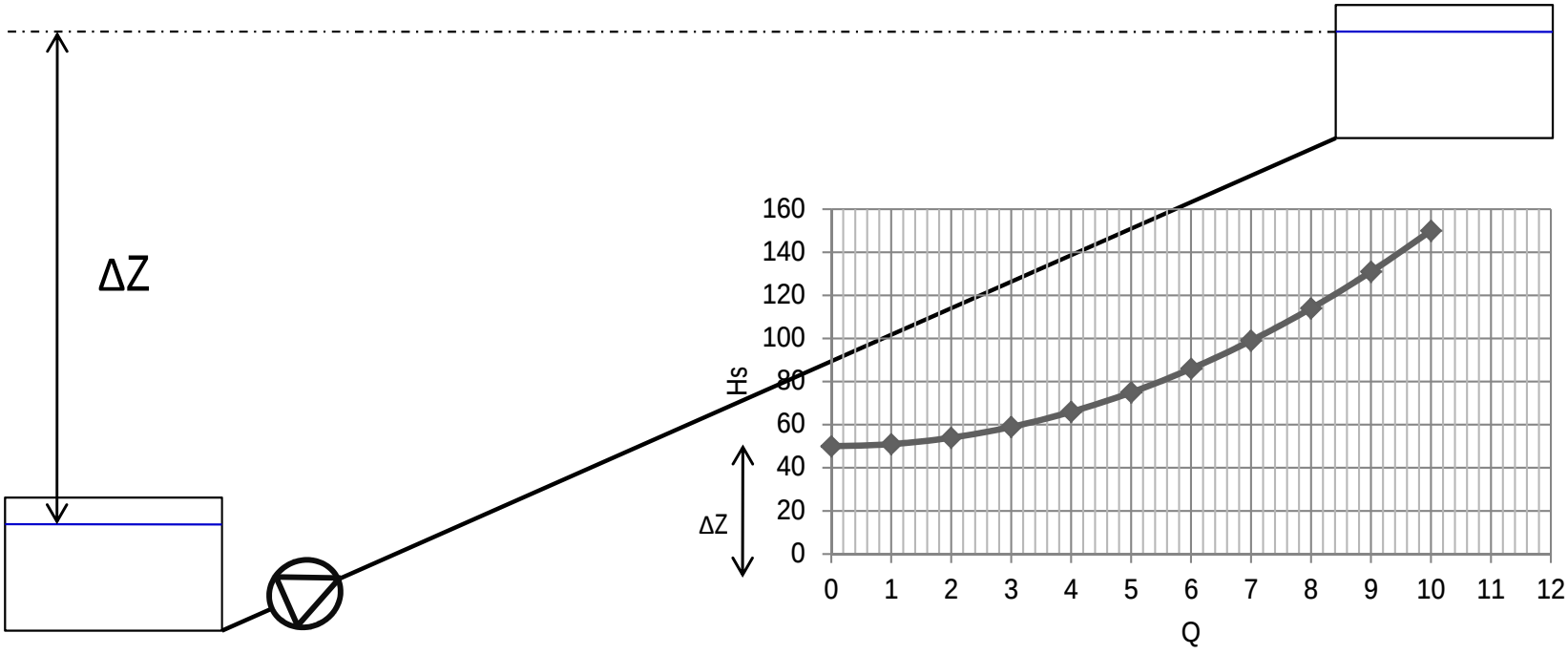


عند ضخ المياه من خزان أول إلى خزان ثان، يمكن التعبير عن الخط المميز للأنبوب (النظام) بالمعادلة التالية:

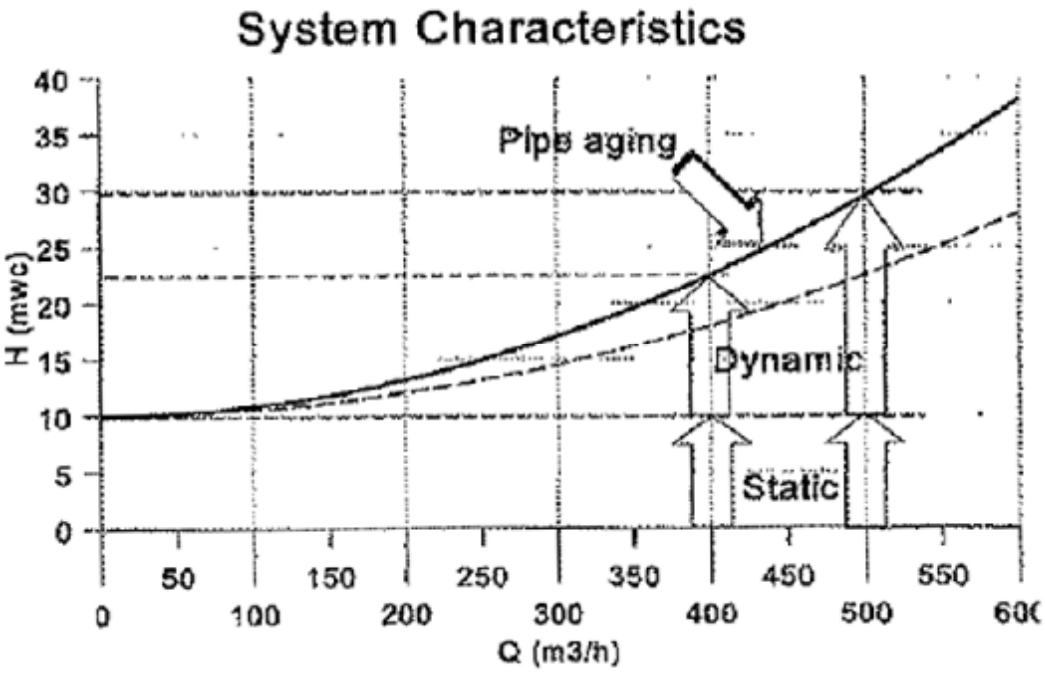
$$H_s = H_{st} + H_{dyn} = \Delta Z + \frac{(P_2 - P_1)}{g} + H_{dyn}$$

عند $P_1=P_2=0$ (ضغط جوي) تصبح معادلة الخط المميز للأنبوب:

$$H_s = \Delta Z + R \cdot Q^2$$



- يتغير ميل الخط المميز للأنبوب تبعاً لنمط تغيرات الفواقد فيه
  - يمكن أن يزداد ميل الخط المميز للأنبوب عند زيادة الفواقد:
    - إغلاق جزئي لصمام
    - تقادم الأنابيب
    - توسيع الجملة
  - إن زيادة الفواقد تؤدي إلى زيادة ميل الخط المميز وبالتالي لانخفاض سعة النقل الأعظمية
  - إن زيادة أقطار الأنابيب أو إضافة أنابيب على التفرع تؤدي إلى تخفيض الفواقد وبالتالي إلى نتائج معاكسة

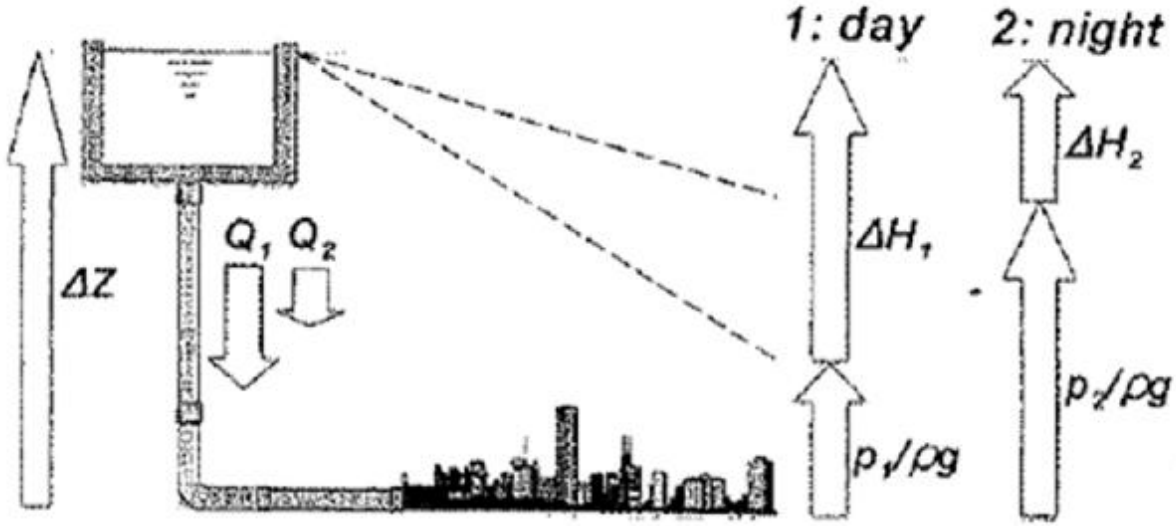


- إذا لم يكن بالإمكان تفادي زيادة الفواقد في النظام، يلزم زيادة الطاقة المقدمة للحصول على الغزارة اللازمة
- الشكل المرفق يوضح أنه عند تقادم النظام:
  - إذا تمت المحافظة على ضاغط 22.5 m تنخفض الغزارة المضخوخة إلى 400 m^3/h
  - يجب زيادة الضاغط المقدم إلى 30 m من أجل المحافظة على غزارة مضخوخة قدرها 500 m^3/h

الأنظمة التي تعمل بالراحة

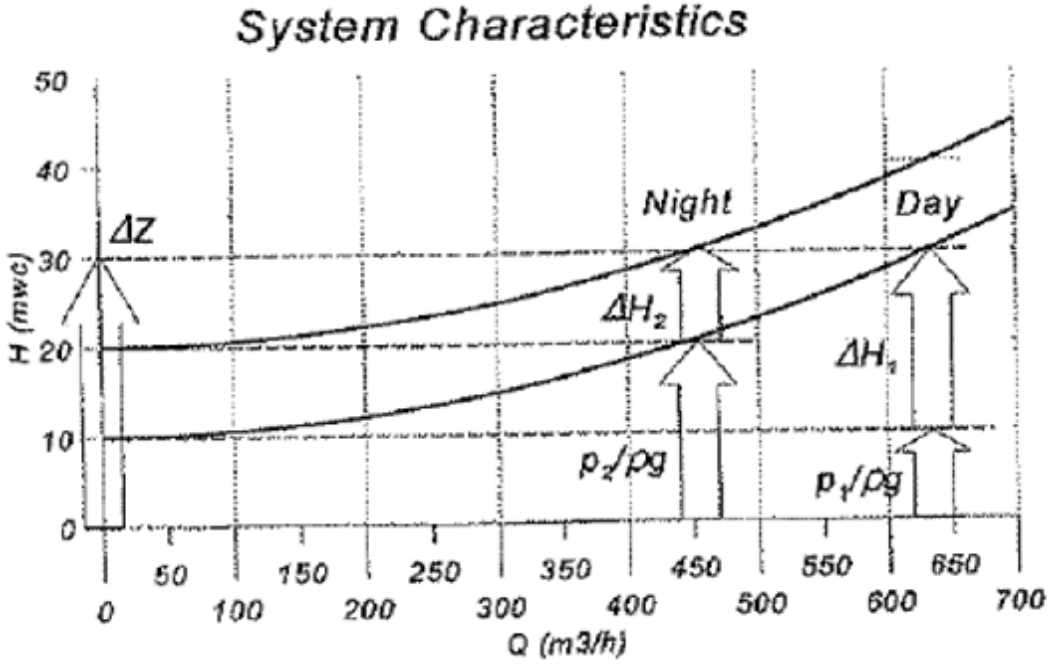
- في حال الأنظمة التي تعمل بالراحة:
  - يتم تقديم الطاقة اللازمة لإمرار المياه عن طريق فرق المنسوب بين مدخل ومخرج المياه ΔZ
  - تتعلق تغيرات الضغط في النظام بتغيرات استهلاك المياه فقط

$$\Delta Z = h_f + h_m + \frac{p_{end}}{\rho g} = R \cdot Q^2 + \frac{p_{end}}{\rho g}, \quad \frac{p_{end}}{\rho g} = \Delta Z - RQ^2$$



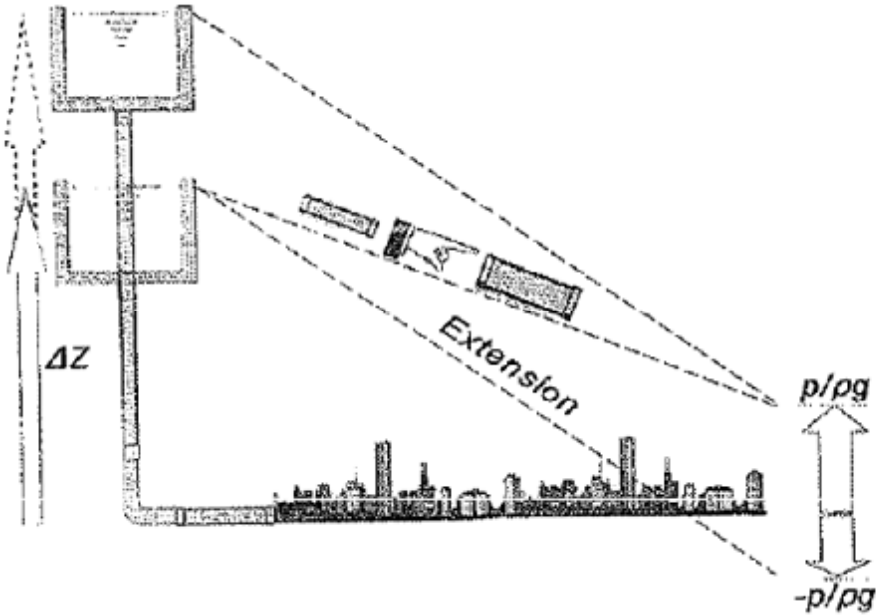
- من أجل ضغط محدد مؤثر على الشبكة ΔZ، يتم تحديد الغزارة الأعظمية التي يمكن تأمينها اعتماداً على الخط المميز للنظام
- من الخط المميز للنظام ومن أجل ΔZ=30 m
  - يمكن تأمين 450 m^3/h عند p_{end}/γ=20 m
  - يتم تأمين غزارة 630 m^3/h عند p_{end}/γ=10 m

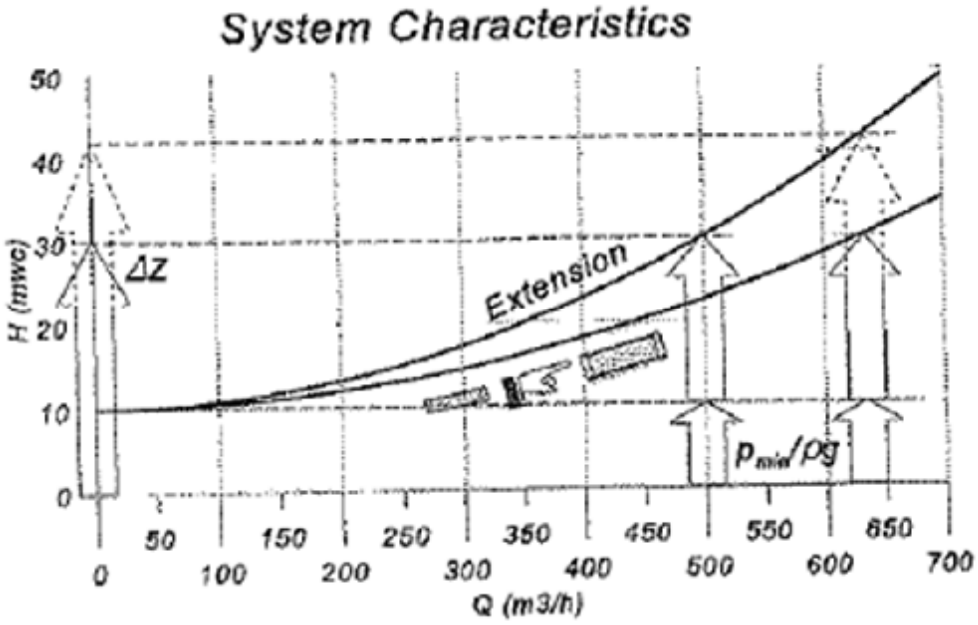
$$\Delta Z = R \cdot Q^2 + \frac{p_{end}}{g}$$



- عند توسيع شبكة يمكن المحافظة على غزارة الضخ بأحد الأسلوبين التاليين أو كلاهما (كما يوضح الشكل):
  - رفع منسوب الخزان
  - زيادة أقطار أنابيب التغذية

$$H_s = \Delta Z + R \uparrow \cdot Q^2 \downarrow$$

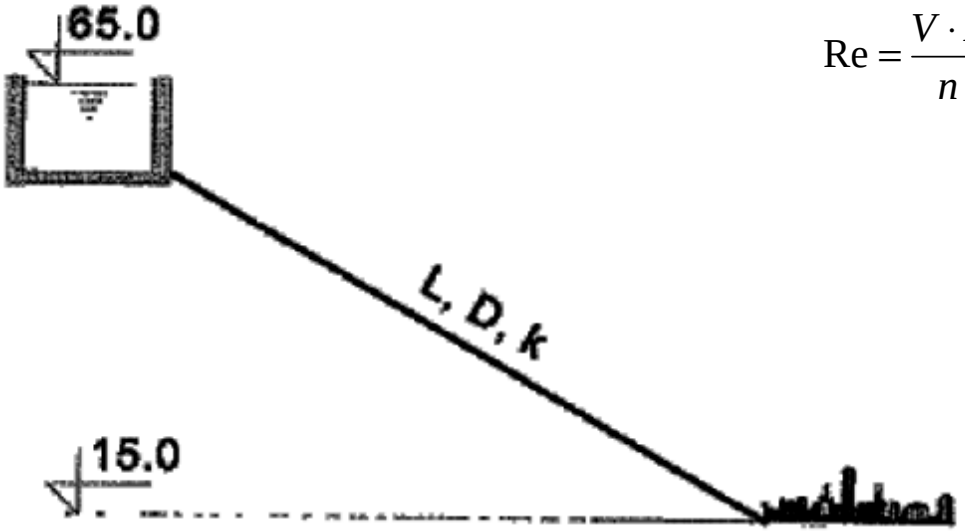




- مسألة 3-3:

– في الشبكة الظاهرة في الشكل المرفق يطلب إيجاد الغزارة الأعظمية الممكن أن ينقلها الأنبوب وفقاً للمعطيات التالية:

- L=3000 m, D=800 mm, k=0.5 mm
- الضغط المطلوب عند بداية المدينة 35 m

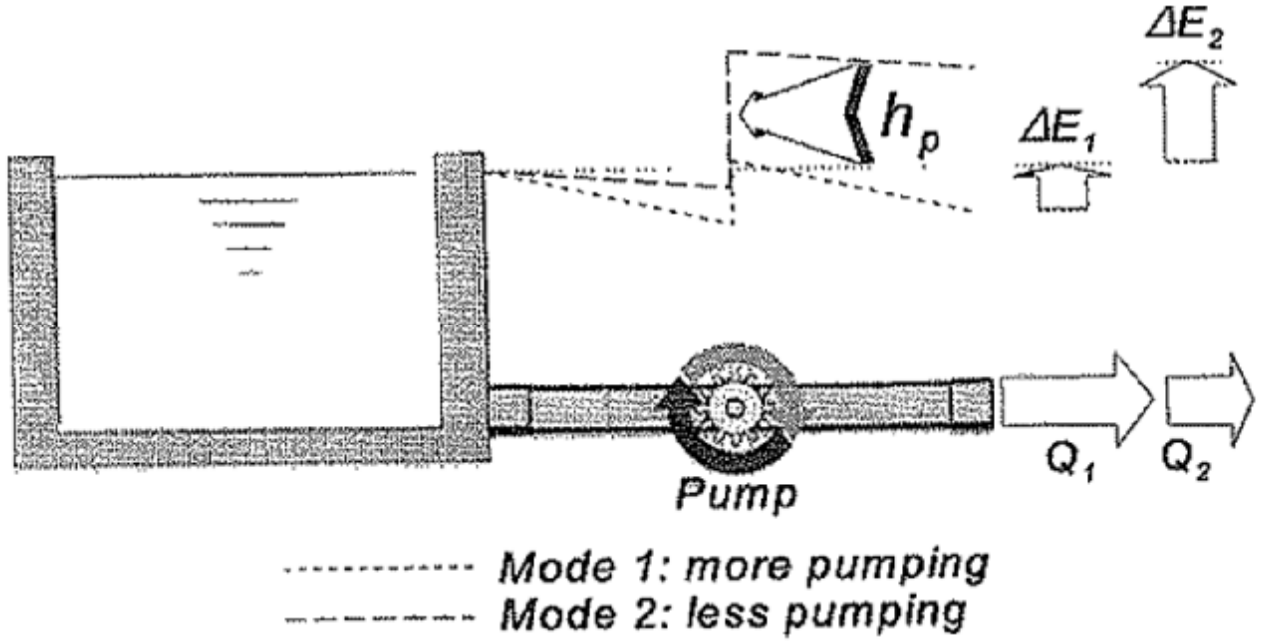


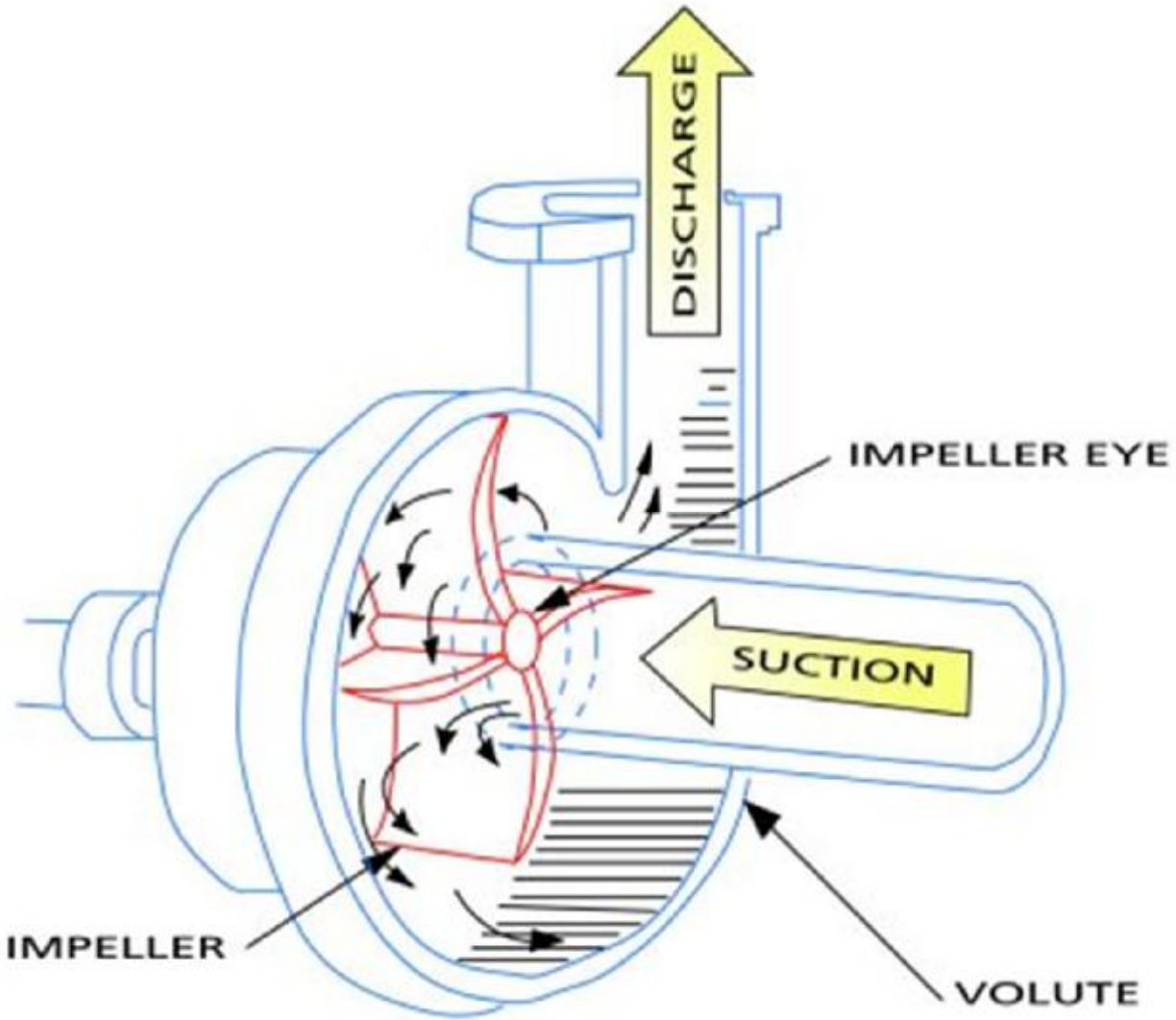
$$\mathrm{Re} = \frac{V \cdot D}{n} \qquad n = 1.3 \times 10^{-6} \qquad \mathrm{R}_f = \frac{l\,L}{12.1 D^5}$$

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

أنظمة الضخ

- عند تركيب مضخة:
  - تقوم المضخة بتقديم الطاقة اللازمة لتحريك المياه ضمن النظام
  - تظهر هذه الطاقة بشكل ضاغط
  - يمثل ضاغط المضخة h_p: الفرق بين مستويي الطاقة عند مدخل المضخة (أنبوب السحب) وعند مخرجها (أنبوب الضخ)




DISCHARGE
IMPELLER EYE
SUCTION
IMPELLER
VOLUTE

- الطاقة اللازمة لرفع المياه N(W)

$$N = \rho g Q h_p$$

حيث Q(m^3/s) غزارة الضخ

- يلزم لتدوير المضخة طاقة أكبر بسبب فواقد الطاقة ضمن المضخة

$$N_p = \frac{\rho g Q h_p}{\eta_p}$$

حيث η_p مردود المضخة، يتعلق بنموذج المضخة ومجال عملها

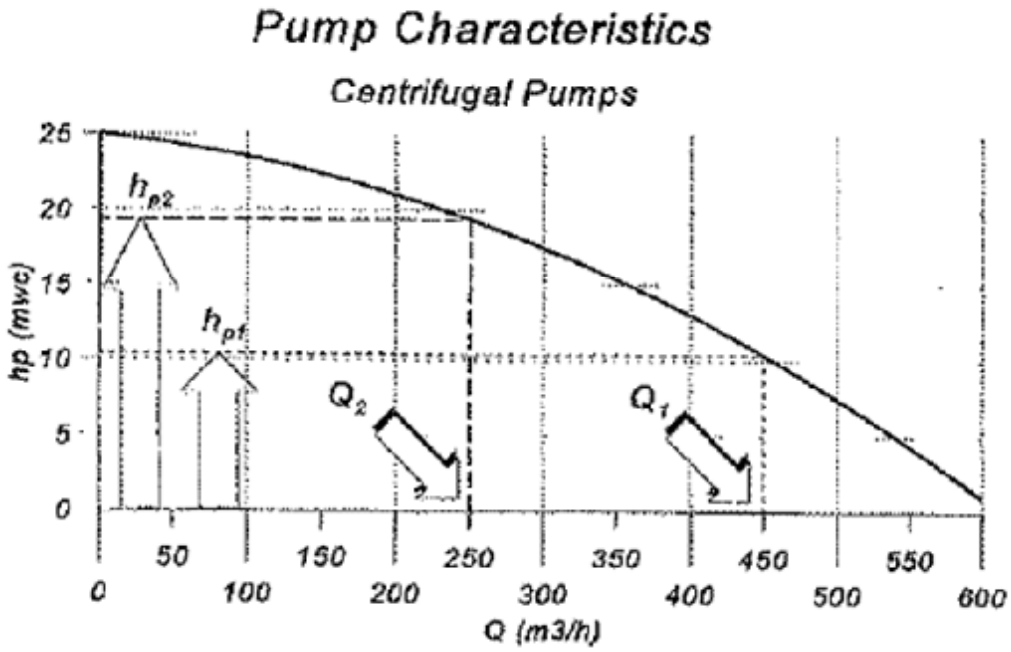
- الطاقة التي يجب أن يقدمها محرك المضخة:

$$N_m = \frac{N_p}{\eta_m}$$

– حيث η_m مردود المحرك

- يتم وصف الأداء الهيدروليكي للمضخة باستخدام المنحني المميز للمضخة (يظهر العلاقة بين رفع المضخة وغزارة الضخ)
- يمكن التعبير عن الخط المميز للمضخات النابذة باستخدام المعادلة التالية:

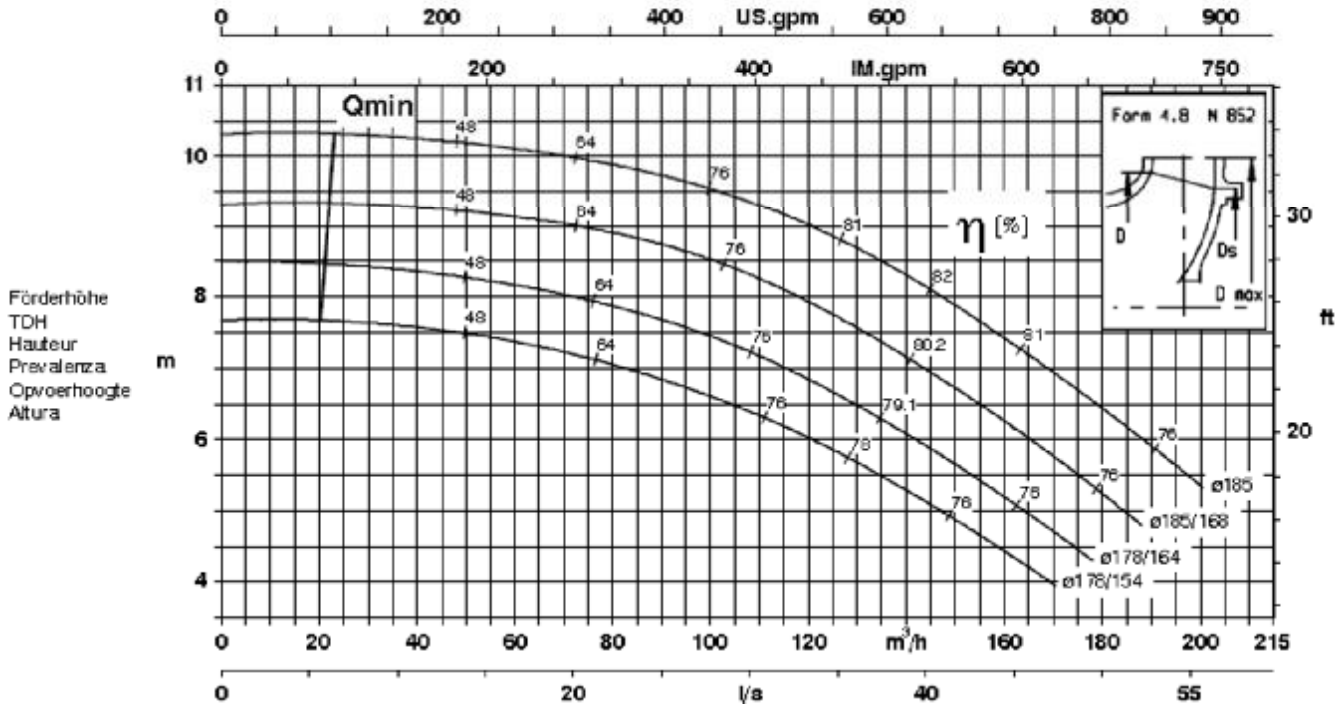
$$h_p = aQ^2 + bQ + c$$



- يعطى الخط المميز للمضخة من الشركة الصانعة، ويكون بمثابة هوية لها
- الشكل التالي يظهر حزمة خطوط مميزة لنموذج مضخة ولأقطار فراش متعددة مع مردود العمل

Baureihe- Größe / Type- Size / Modèle / Tipo	Nenndrehzahl / Nom. speed / Vitesse nom. / Velocità di rotazione nom. / Nominaal toerental / Revoluciones nom.	Laufrad- ø / Impeller Dia. / Diamètre de roue / ø Girante / ø Waaier / ø Rodete
Etanorm 100-160 Etabloc	1450 1/min	
Projekt / Project / Projet / Progetto / Projekt / Proyecto	Angebots- Nr. / Project No. / No. de l'offre / Offerta- No. / Offerten. / Offerta- No.	Pos.- Nr. / Item No. / No. de pos. / Pos.- Nr. / Positien. / Pos.- Nr.

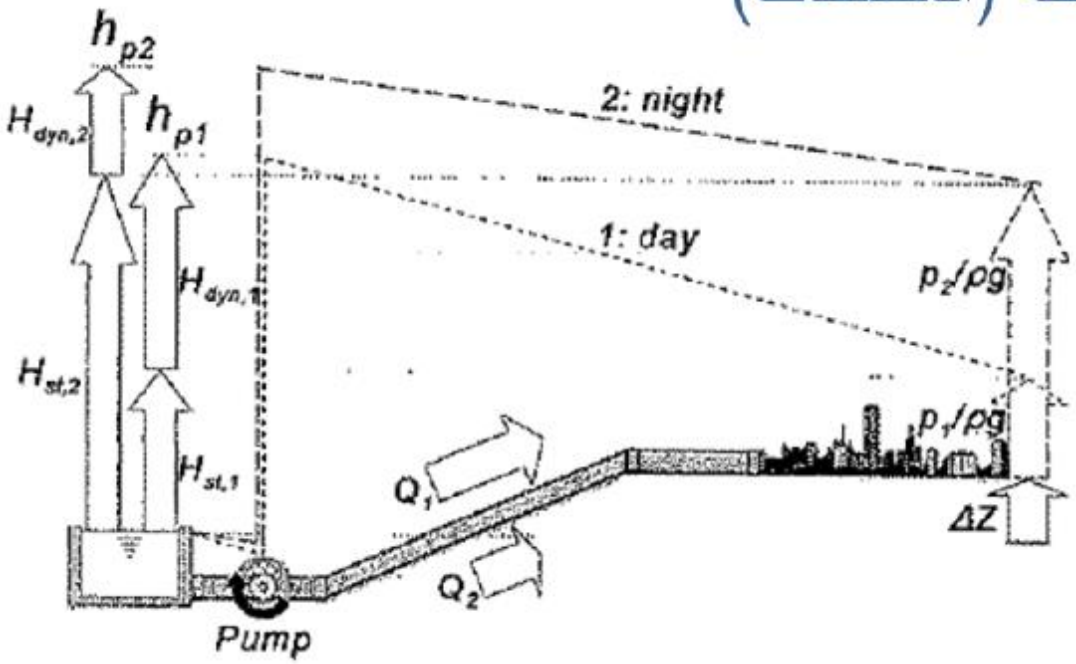
KSB
KSB Aktiengesellschaft
Unternehmensbereich Pumpen
Industrie- und Wassertechnik
Postfach 1725, 67225 Frankenthal
Joh.- Klein- Str. 9, 67227 Frankenthal



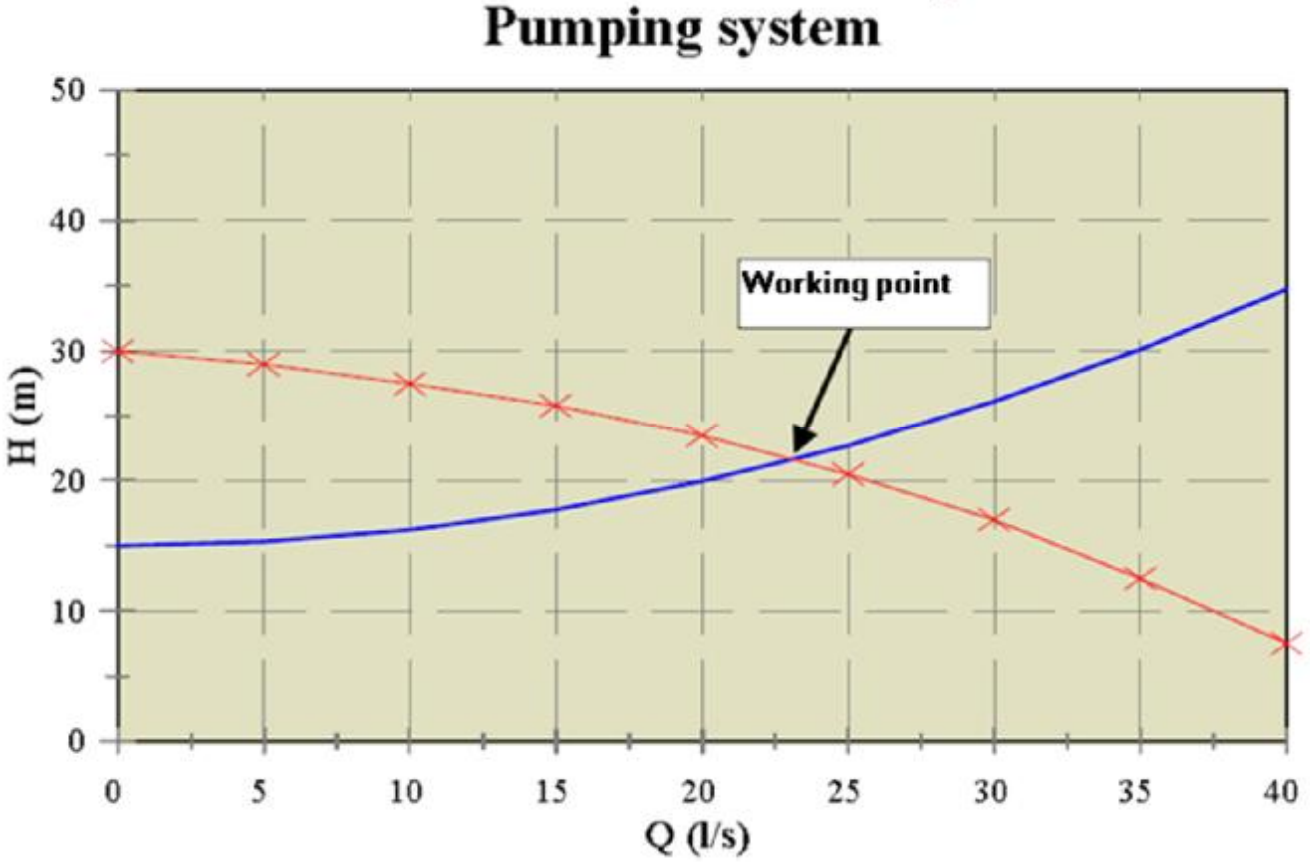
- تقوم المضخات برفع المياه من منسوب منخفض إلى منسوب أعلى، ويعطى ضاغط المضخة بالعلاقة:

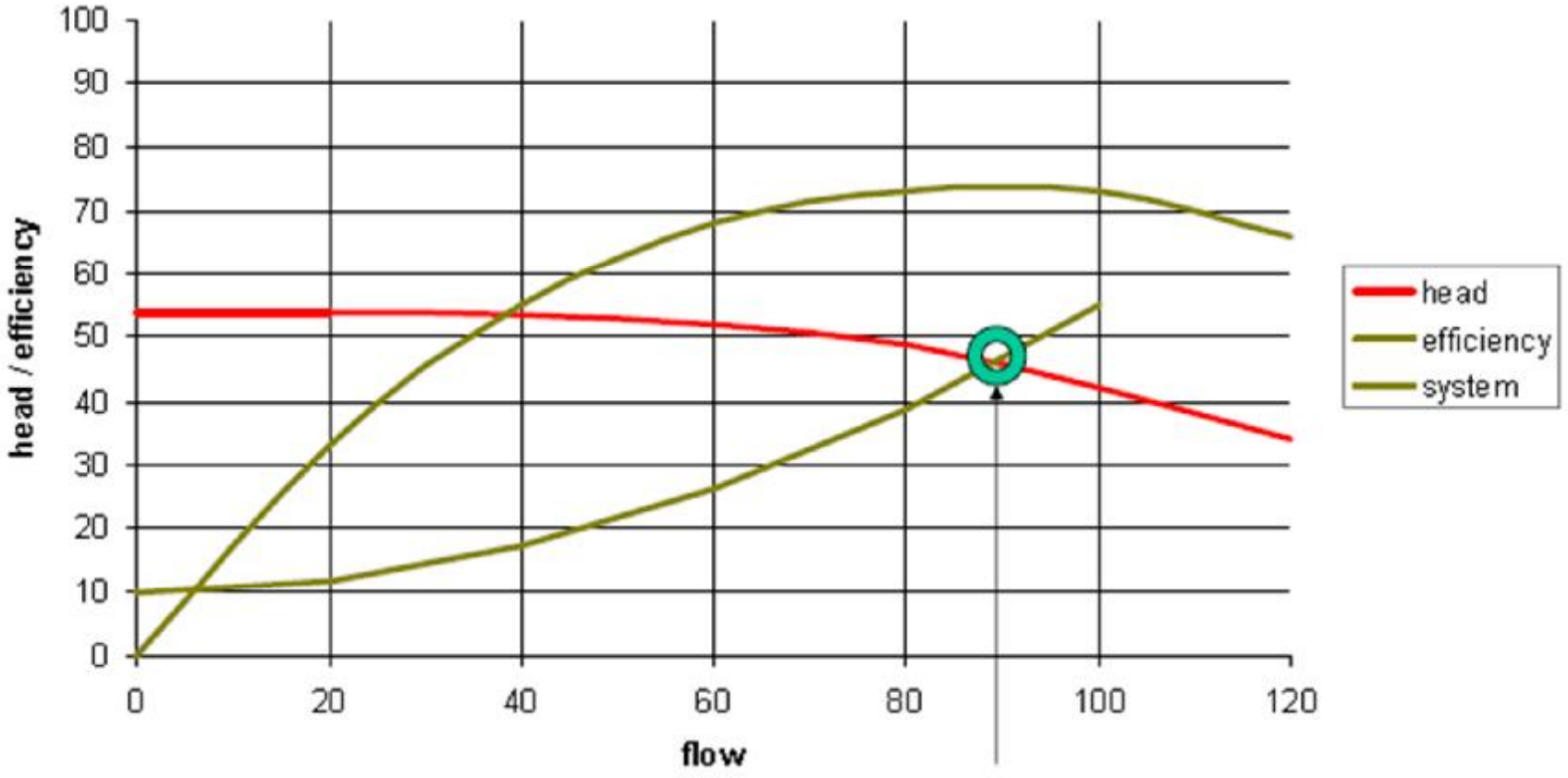
$$h_p = H_{dyn} + \Delta Z + \frac{p_{end}}{g}$$

- عند ضخ المياه مباشرة في شبكة التغذية يتم مراعاة تغيرات الاستهلاك عن طريق تنظيم برنامج عمل للمضخة (المضخات)



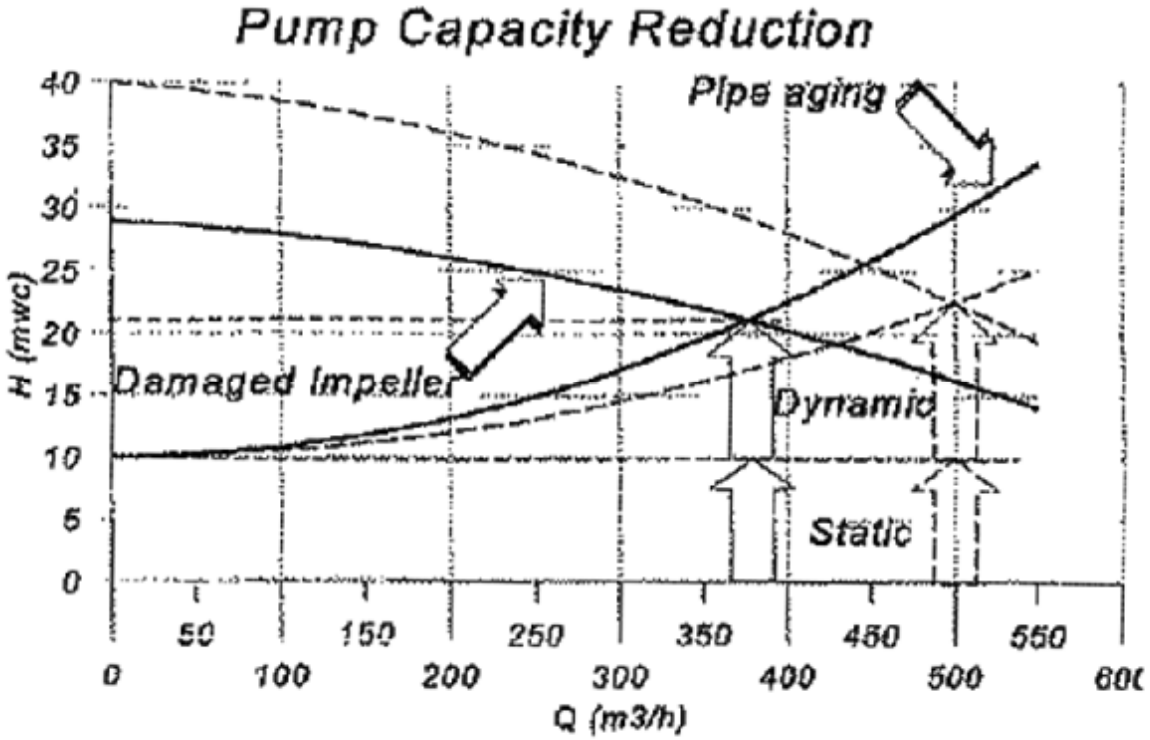
- عند ضخ المياه في شبكة تغذية، يتم تحديد غزارة الضخ والضاغط من الخط المميز لكل من المضخة والشبكة
  - تسمى نقطة تقاطع المنحنيين **نقطة العمل المشتركة**
    - تحدد ضاغط المضخة اللازم لضخ كمية المياه المطلوبة وتأمين الضاغط الستاتيكي المطلوب (فرق المنسوب+الضاغط الواجب توفره عند نقطة المخرج)





Pump operates where pump and system curve intersect

- تتغير طاقة الضخ الأعظمية للمضخة مع الزمن (الغزارة والضاغط) لأحد الأسباب التالية:
  - قدم فراش المضخة
  - صدأ أنبوب الضخ
  - زيادة التسربات
  - ينتج عن ذلك نقص الغزارة الأعظمية التي يمكن ضخها



الأنظمة المركبة

- يتم في الأنظمة المركبة تغذية السكان بالمياه بشكل مشترك عن طريق الضخ وعن طريق الخزانات
- توجد ثلاثة أشكال للأنظمة المشتركة

– خزان- مضخة- شبكة: حيث يتم ضخ المياه من خزان ضمن شبكة التوزيع

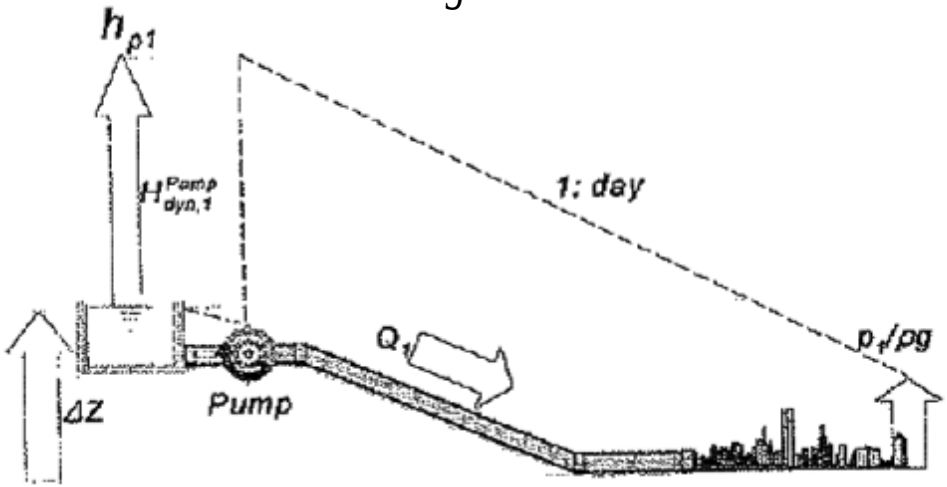
– مضخة- خزان- شبكة: حيث يتم ضخ المياه إلى خزان توزع المياه منه إلى الشبكة بالراحة

– مضخة- شبكة- خزان: يقع الخزان ومحطة الضخ على الطرفين المتقابلين للشبكة

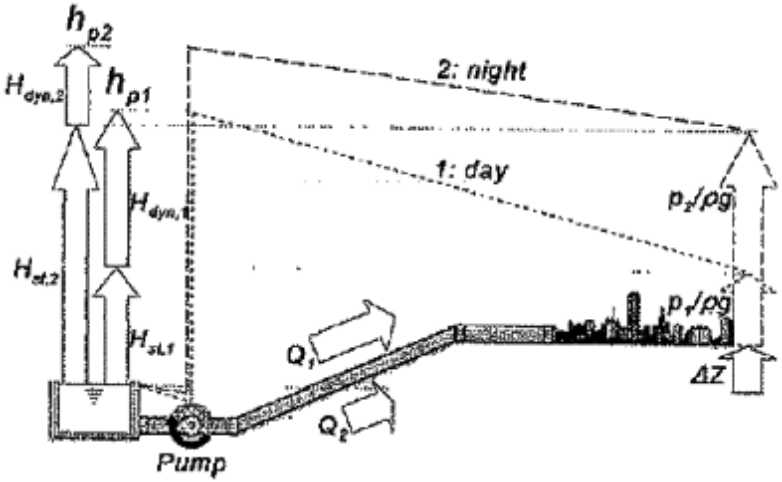
خزان- مضخة- شبكة

- يستخدم هذا النظام إذا كان موقع الخزان لايسمح بتغذية الشبكة بالمياه بالراحة:
  - لاتوجد أرض قريبة بارتفاع مناسب يمكن بناء الخزان عليها
  - المسافة كبيرة جداً بين موقع الخزان وشبكة التغذية
- هذه الحالة مشابهة لضخ المياه مباشرة ضمن الشبكة
  - مع فرق وحيد هو إمكانية خفض الضاغط اللازم للمضخة بمقدار فرق المنسوب بين الخزان والشبكة (إذا كان الخزان أعلى من الشبكة)

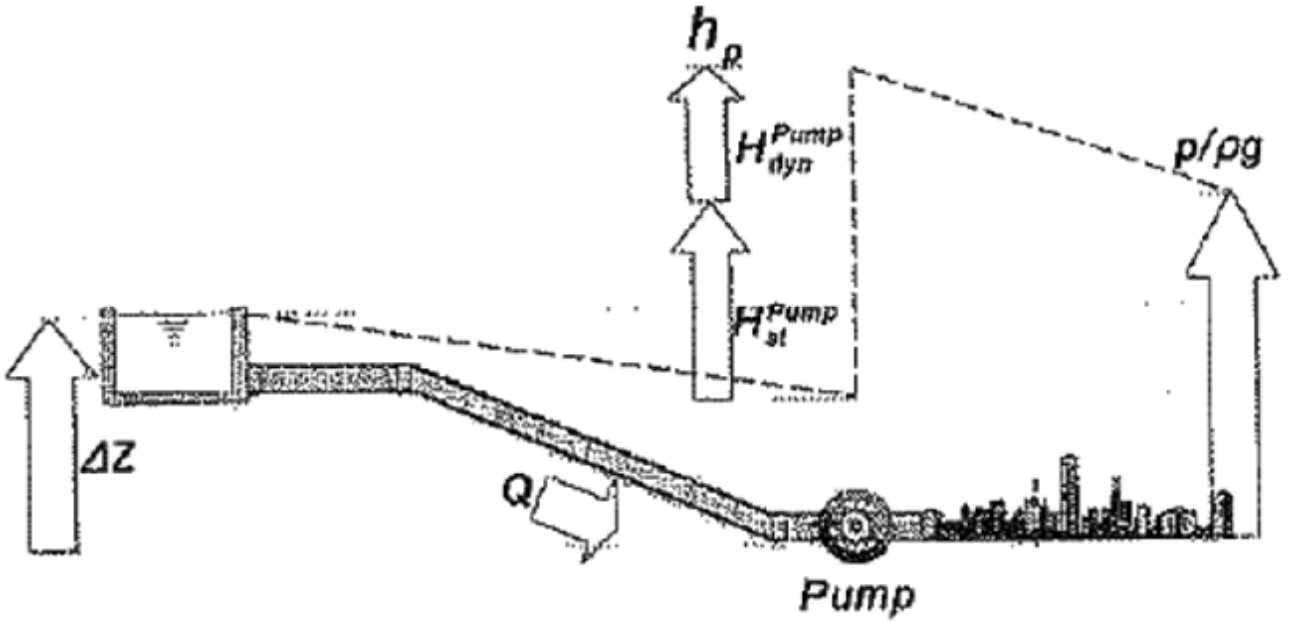
$$h_p = H_{dyn} + \frac{p_{end}}{g} - \Delta Z$$



$$h_p = H_{dyn} + \Delta Z + \frac{p_{end}}{g}$$



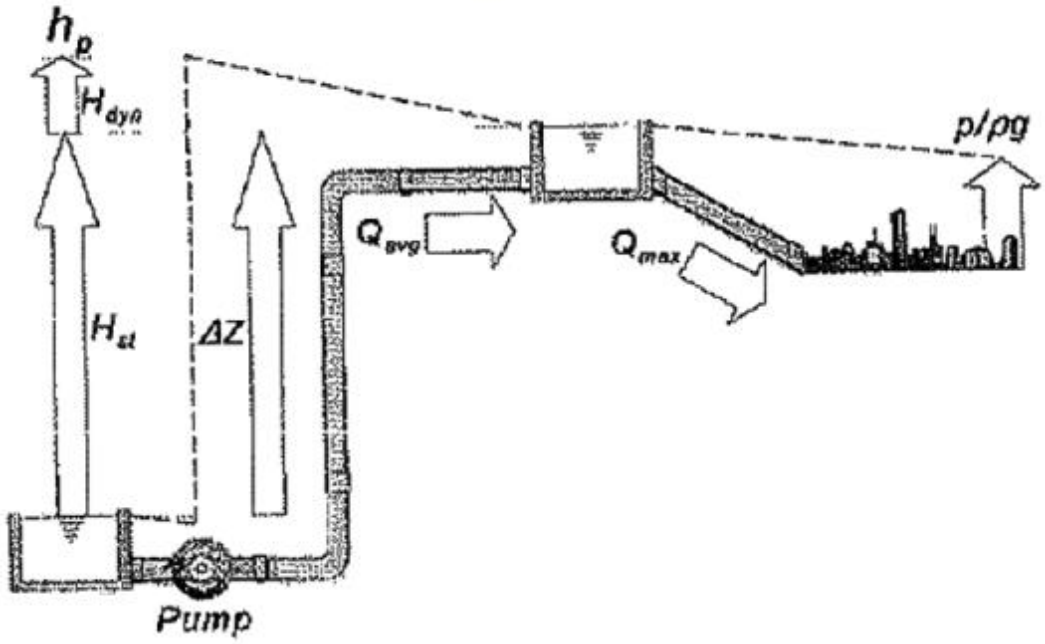
- ليس من الضروري في هذه الحالة تركيب محطة الضخ قرب شبكة التغذية
  - إذا تم تركيب المضخات على الشبكة مباشرة تسمى المضخات بمضخات تعزيز الرفع (Booster)
    - يتم اللجوء إلى هذا الحل عندما يراد تجنب الضغوط المرتفعة



مضخة- خزان- شبكة

- يمكن اللجوء إلى هذا النظام في المناطق الجبلية (أو في حالة الخزانات البرجية)
  - تضخ المياه إلى الخزان حيث توزع المياه منه إلى الشبكة بالراحة
  - الضاغط الستاتيكي هو فرق المنسوب بين الخزان والشبكة

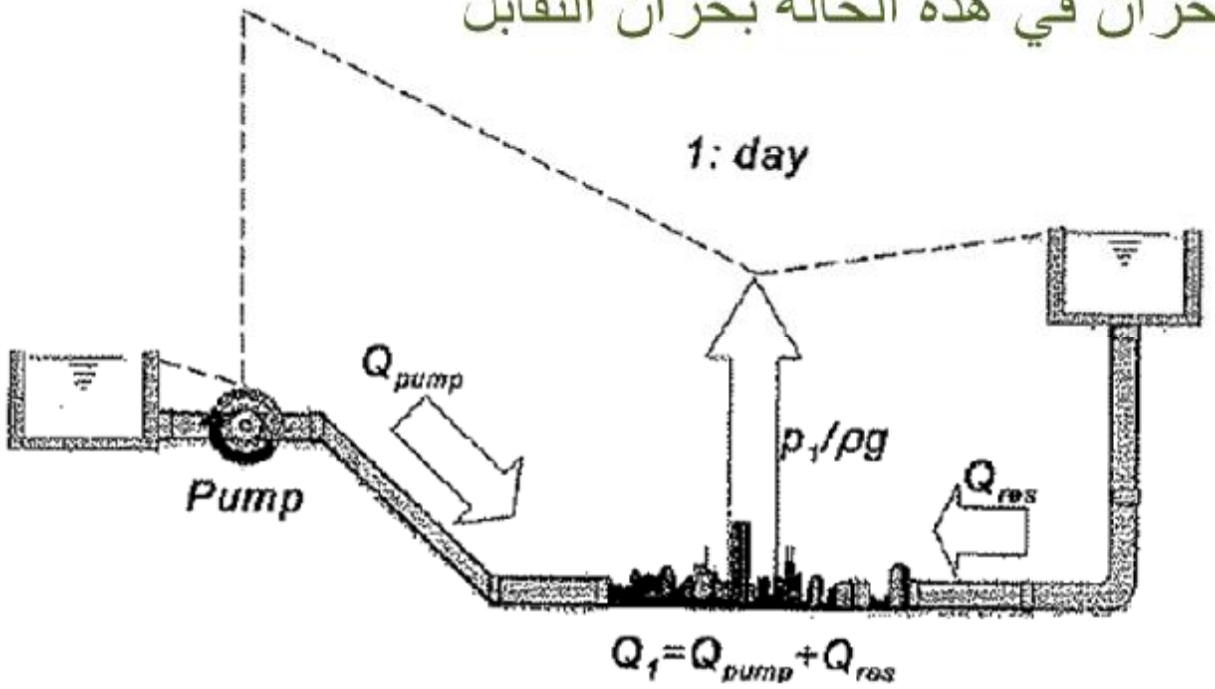
$$h_p = H_{dyn} + \Delta Z$$



- ميزات النظام:
  - عمل منتظم للمضخات
  - تحوي الخزانات على احتياطي يستخدم في حال تعطل المضخات

مضخة- شبكة- خزان

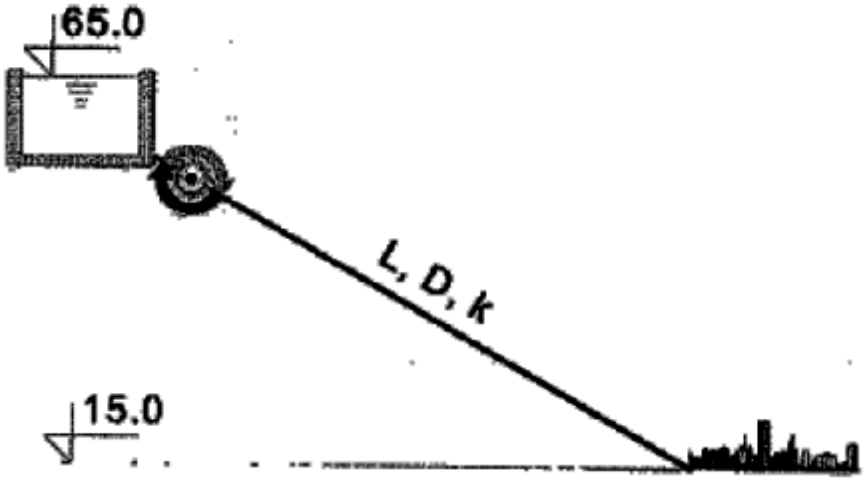
- يمكن استخدام هذا النظام عندما تقع شبكة التوزيع في وادي
  - خلال فترة الاستهلاك الأعظمي يتم تغذية الشبكة من الخزان والمضخة معاً
  - خلال فترة الاستهلاك الأدنى تتغذى الشبكة من المضخة، ويذهب الفائض إلى الخزان
  - يسمى الخزان في هذه الحالة بخزان التقابل

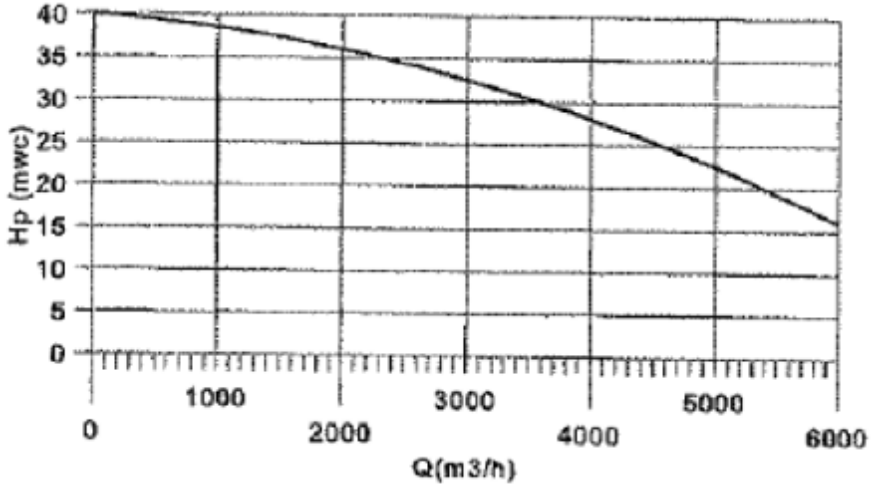


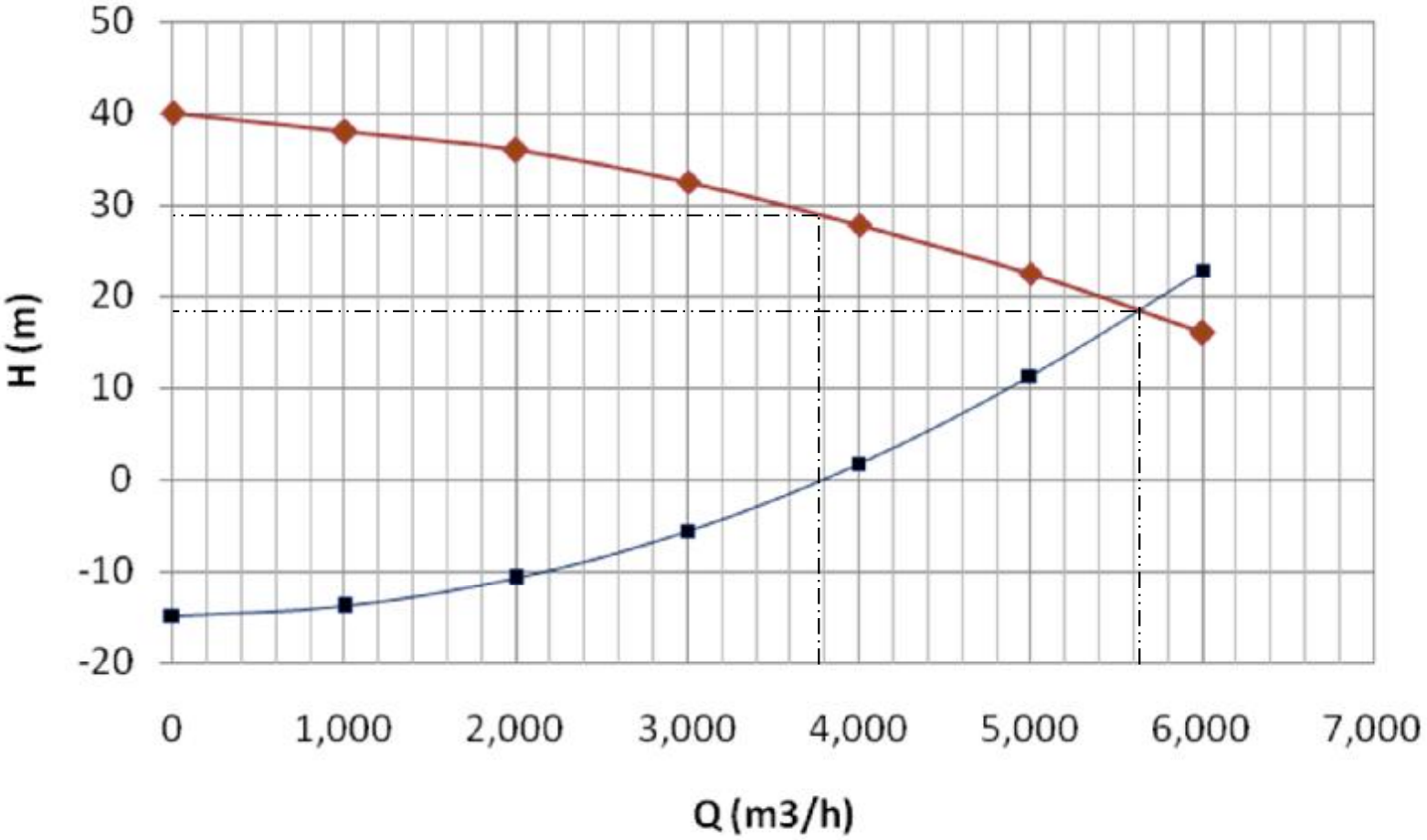
- مسألة 3-4:

– من أجل نفس النظام المستخدم في المسألة السابقة، تم تركيب مضخة كما هو موضح في الشكل، تعمل المضخة وفقاً للخط المميز المعطى في الشكل التالي، المطلوب:

- الغزارة التي يمكن ضخها إلى المدينة إذا كان الضغط المطلوب الضغط المطلوب عند بداية المدينة 35 m
- الضغط الفعلي عند مدخل المدينة إذا تم ضخ نفس كمية المياه المحسوبة في المسألة السابقة
- تفرض λ=0.018
- L=3000 m, D=800 mm, k=0.5 mm



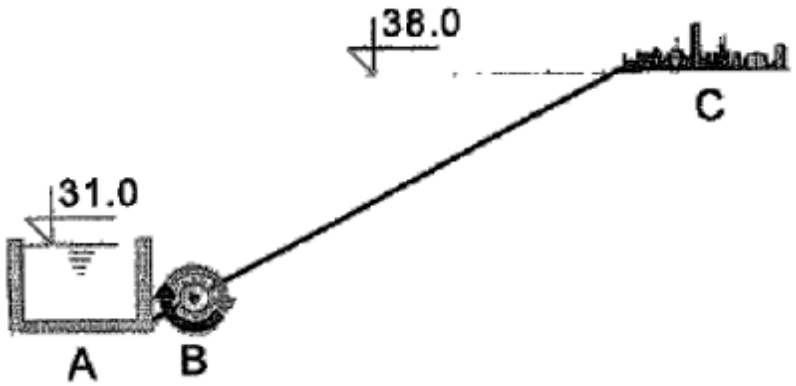


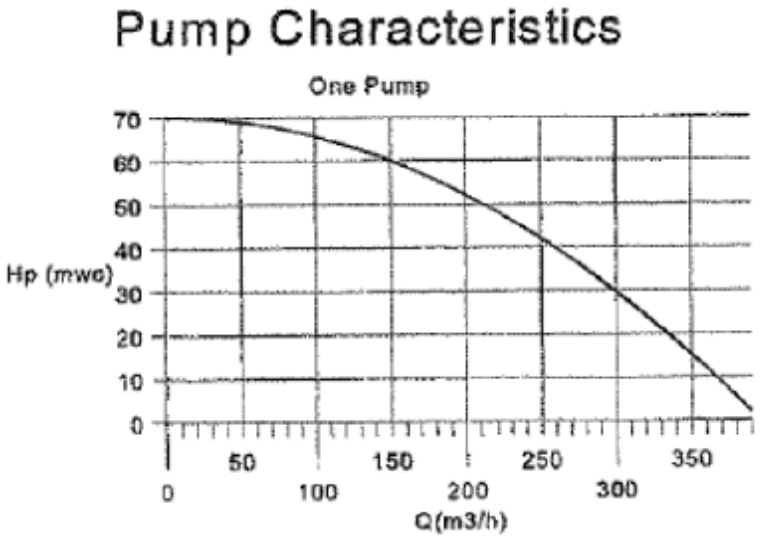


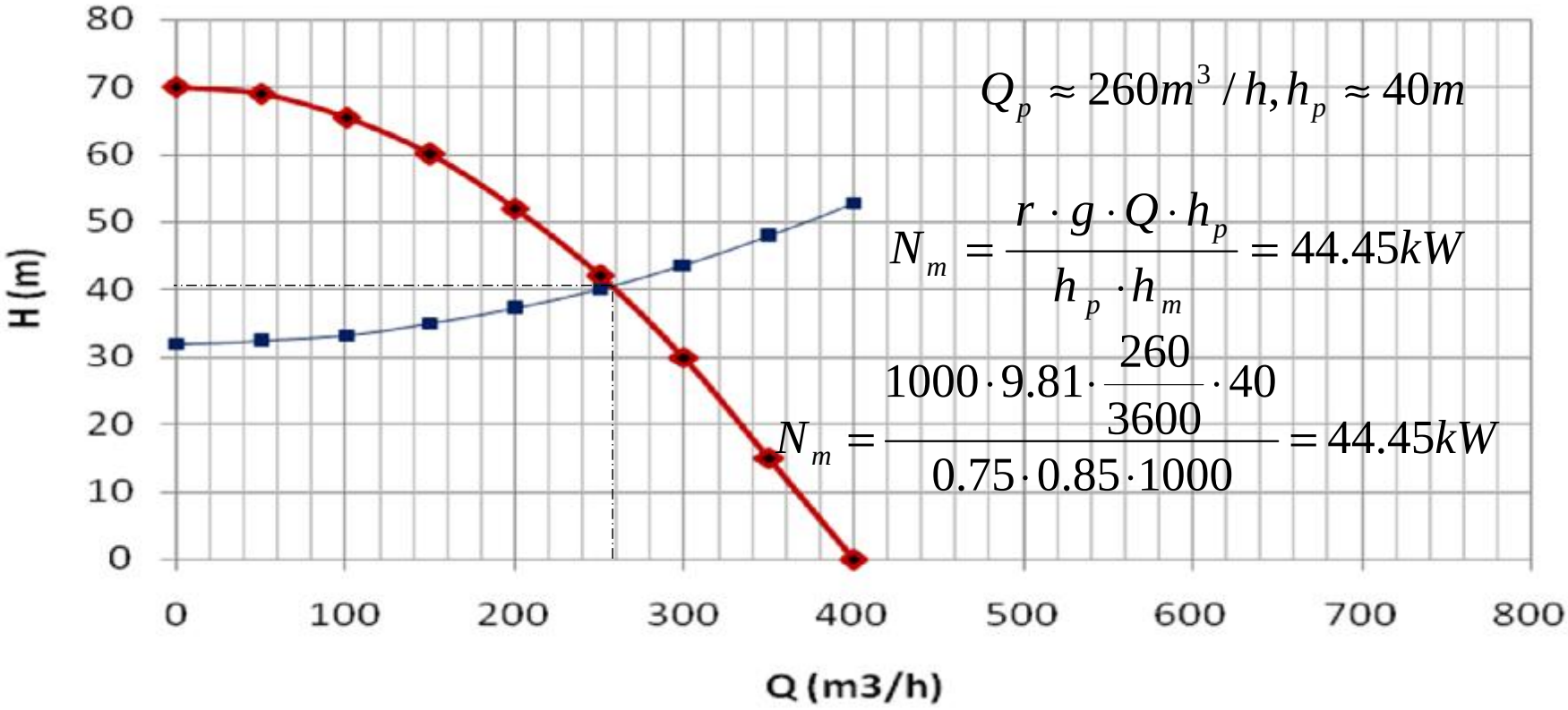
$$\mathrm{Re} = \frac{V \cdot D}{n} \qquad n = 1.3 \times 10^{-6} \qquad \mathrm{R}_f = \frac{l\,L}{12.1 D^5} \qquad l = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{e}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right)\right]^2}$$

- مسألة 3-5:
  - تقوم المضخة B بتغذية المدينة C من الخزان A عبر أنبوب مواصفاته كالتالي:

    D=250 mm, L=1100 m, λ=0.02
  - الضاغط المطلوب عند مدخل المدينة 25 m
  - يعطى المخطط المميز للمضخة في الشكل أدناه، المطلوب:
    1) الغزارة العظمى التي يمكن ضخها
    2) الاستطاعة اللازمة لمحرك المضخة علماً بأن $\eta_p=0.75$, $\eta_m=0.85$







$$Q_p \approx 260 m^3/h, h_p \approx 40m$$

$$N_m = \frac{r \cdot g \cdot Q \cdot h_p}{h_p \cdot h_m} = 44.45kW$$

$$N_m = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot \frac{260}{3600} \cdot 40}{0.75 \cdot 0.85 \cdot 1000} = 44.45kW$$