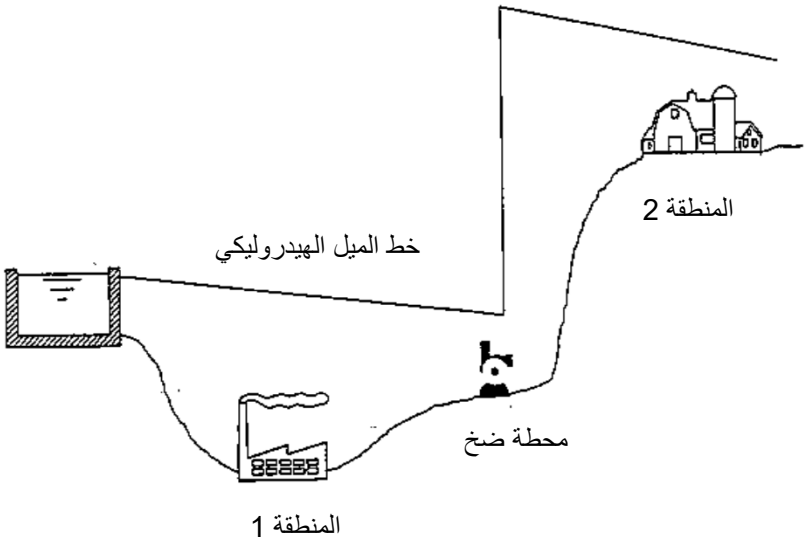
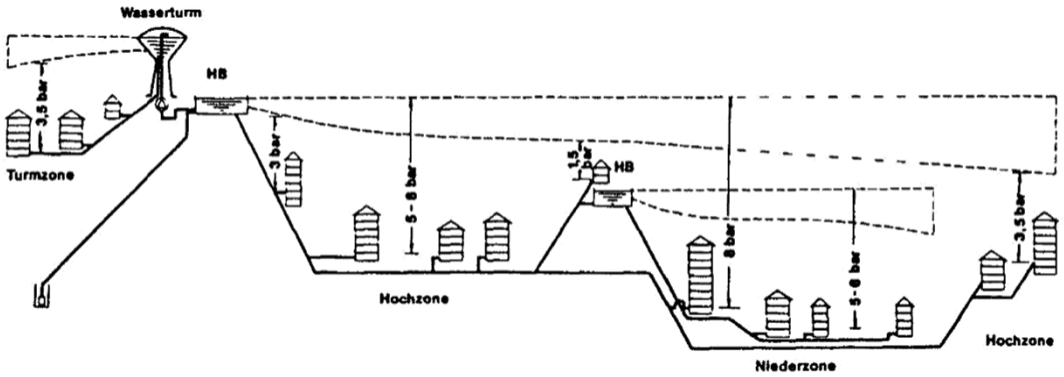
أنظمة التغذية بالمياه

- يتم تأمين الضاغط البيزومتري اللازم لإيصال المياه إلى نقطة الاستهلاك عن طريق:
  - إنشاء خزان عال بارتفاع مناسب
  - تركيب مضخة على الجملة باستطاعة كافية



- العوامل المؤثرة مباشرة على مواصفات وموقع واستطاعة وتشغيل الخزانات والمضخات:
  1. الظروف الطبوغرافية
  2. موقع منطقتي التغذية والاستهلاك
  3. تغيرات الاستهلاك مع الزمن
  4. الغزارة العظمى التي يمكن أن تنقلها أنابيب الشبكة

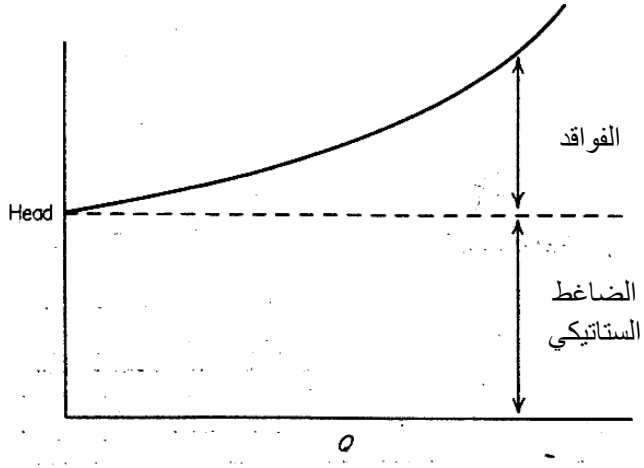


الخط المميز للنظام

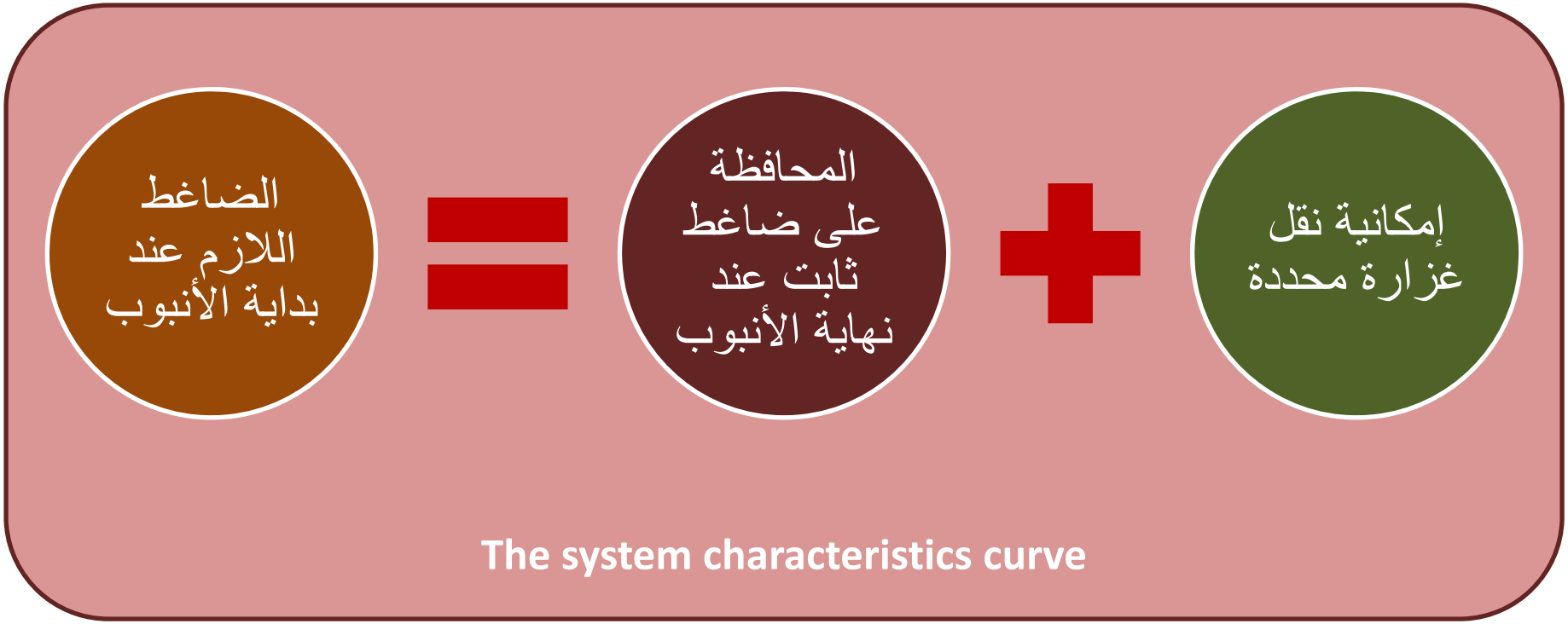
الخط المميز للنظام

الغزارة التي يمكن أن ينقلها أنبوب محدد إذا عرف:

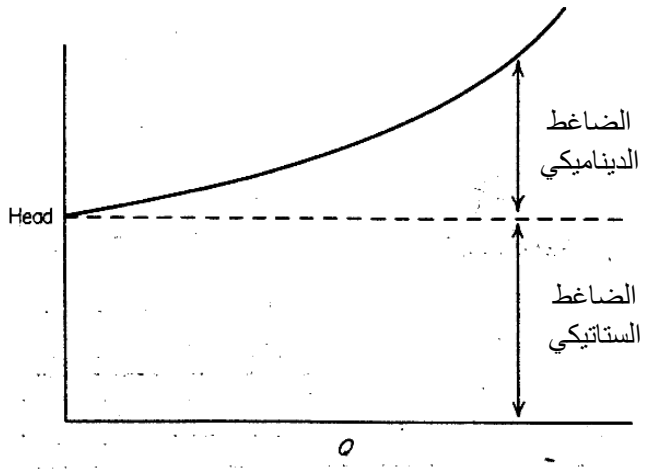
- الطول
- القطر
- معامل الاحتكاك
- الميل



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

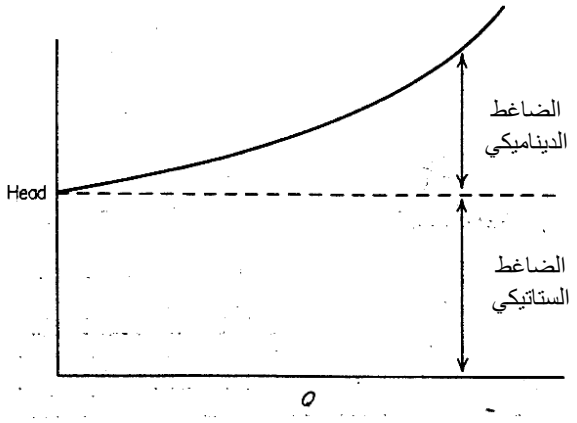


The system characteristics curve



- يتم التعبير عن الغزارة الأعظمية التي يمكن لأنبوب (أو نظام) نقلها باستخدام الخط المميز للأنبوب (النظام)
  - يعبر الخط المميز عن:
    - قيمة الغزارة Q التي يمكن إمرارها من أنبوب معين ،إذا كان الضاغط المطبق عند نقطة التغذية H
    - الضاغط الكلي H_s اللازم لمرور غزارة معينة قدرها Q ضمن الأنبوب
      - يتألف الضاغط الكلي من ضاغط ديناميكي H_{dyn} وضاغط ستاتيكي H_{st}:

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



– الضاغط الديناميكي:

- الضاغط اللازم للتغلب على الفواقد الطولية والمحلية في أنبوب النقل

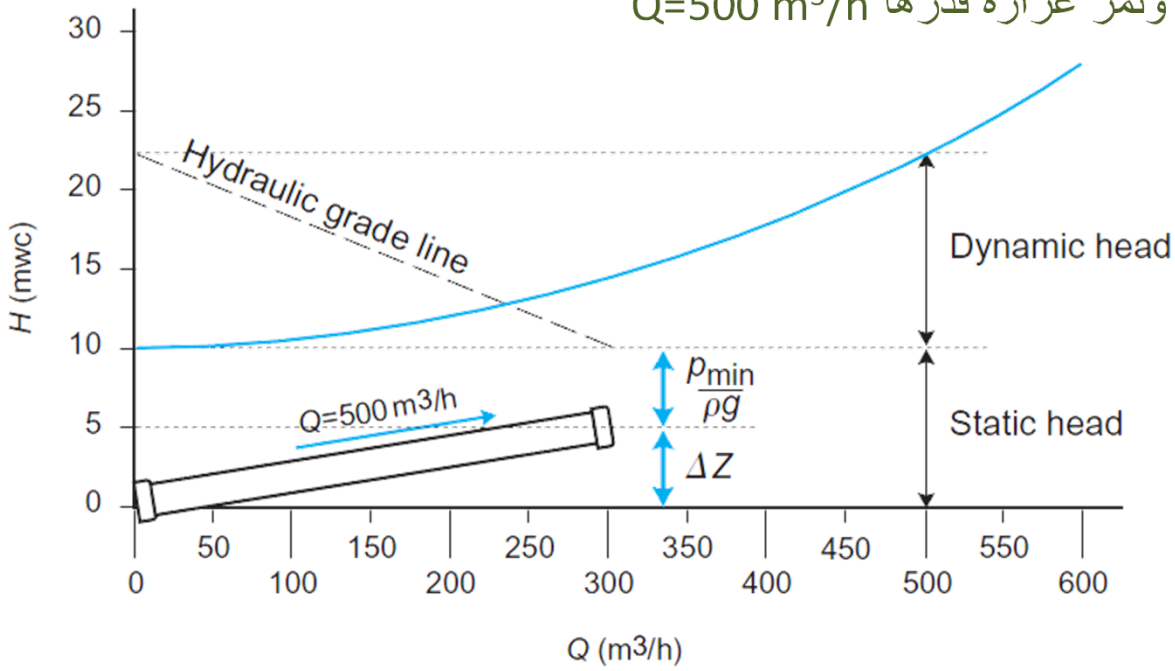
$$H_{dyn} = h_f + h_m = (R_f + R_m) \cdot Q^2$$

– الضاغط الستاتيكي:

- يتعلق بشكل النظام وليس بالغزارة المارة عبره، ويتألف من:
  - فرق المنسوب ΔZ_{A-B} بين بداية الأنبوب (نقطة التغذية A) ونهايته (نقطة الاستهلاك B)
  - الضغط المتبقي في نهاية الأنبوب عند نقطة الاستهلاك

$$H_{st} = \Delta Z_{A-B} + \frac{p}{\rho \cdot g}$$

- من الخط المميز للأنبوب المعطى في المخطط المرفق يتبين التالي:
  - عند تأمين ضاغط ستاتيكي في بداية الأنبوب قدره H_{st}=10 mwc ترتفع المياه إلى نهاية الأنبوب بمقدار فرق المنسوب ΔZ، ويتم الحصول على ضغط متبقي 5 m في نهاية الشبكة لكن لاتمر المياه ضمن الأنبوب Q=0 m^3/h
  - عند تأمين ضاغط في بداية الشبكة 22.5 m يتم إيصال المياه إلى نهاية الأنبوب والحصول أيضاً على ضاغط متبقي قدره 5 m، وتمر غزارة قدرها Q=500 m^3/h



$$H_{st} = \Delta Z + \frac{P_{\min}}{\rho g} = 10\ m$$

$$\Delta Z = 5\ m$$

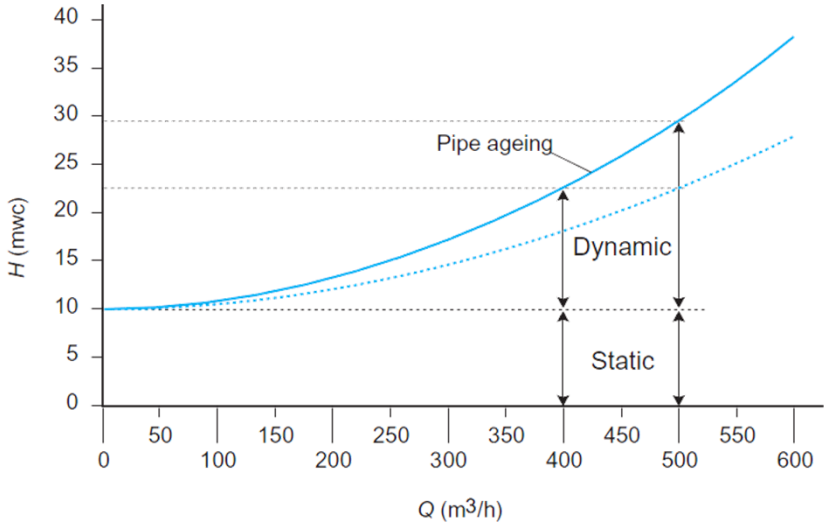
$$\frac{P}{\rho g} = 5\ m$$

$$H_{dyn} = RQ^2$$

$$Q = 500\ m^3/h \Rightarrow H_{dyn} = 12.5\ m$$

- يتغير ميل الخط المميز للأنبوب تبعاً لتغيرات الفواقد فيه
  - يمكن أن يزداد ميل الخط المميز للأنبوب عند زيادة الفواقد بسبب:
    1. إغلاق جزئي لصمام
    2. تقادم الأنابيب
    3. توسيع الشبكة
  - تؤدي زيادة ميل الخط المميز للأنبوب لانخفاض سعة نقله الأعظمية
  - يمكن إعادة الغزارة إلى قيمتها الأصلية باستبدال الأنبوب بآخر بقطر أكبر أو إضافة أنبوب على التفرع
    - إعادة الفواقد إلى وضعها الأصلي

- إذا لـم يكـن بالإمكـان تفـادي زيـادة الفواقـد فـي النظـام، يلـزم زيـادة الطاقـة المقدمـة للحصـول علـى الغزارة اللازمة
- الشكل المرفق يوضح التالي:
  - عندما يكون النظام جديداً: .....
    - يلزم ضاغط قدره 22.5 m لإمرار غزارة قدرها 500 m^3/h
  - عند تقادم النظام: ———
    - يجب زيادة الضاغط المقدم إلى 30 m من أجل الحفاظ على غزارة مضخوخة قدرها 500 m^3/h
    - إذا تمت المحافظة على ضاغط 22.5 m تنخفض الغزارة المضخوخة إلى 400 m^3/h



$$H_s = H_{st} + H_{dyn} = \Delta Z + \frac{P}{\rho g} + R^{\uparrow} Q^{2\downarrow}$$

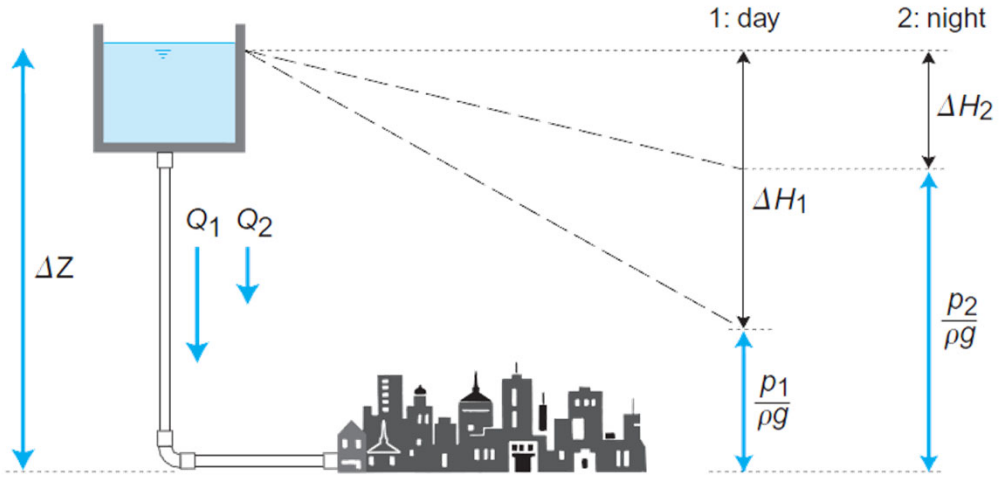
أنظمة التغذية بالمياه

- يتم تأمين الضاغط اللازم لإيصال المياه إلى نقطة الاستهلاك بضاغط وغزارة معينين عن طريق:
  - إنشاء خزان بارتفاع مناسب (نظام الثقالة)
  - تركيب مضخة بطاقة كافية (نظام الضخ)
  - خزان مع مضخات (الأنظمة المركبة)

نظام الثقالة

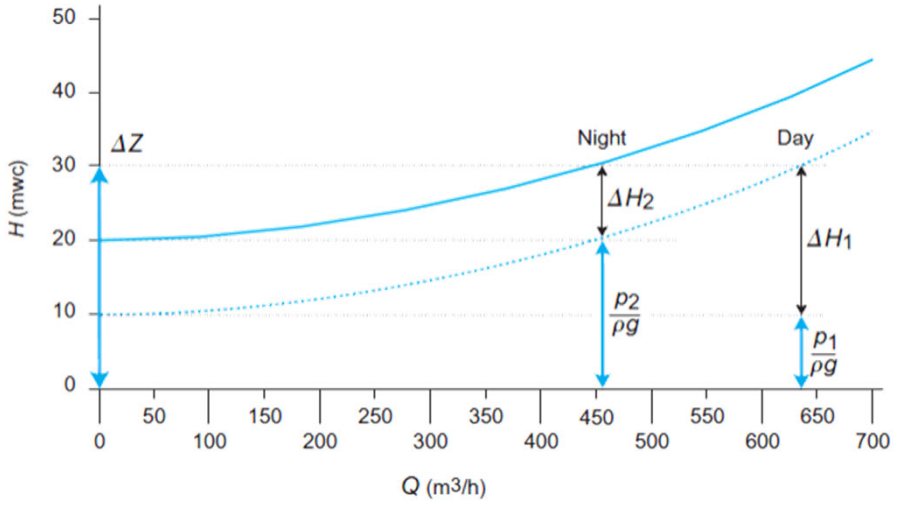
- يـتم تقـديم الطاقـة اللازمـة لإمـرار الميـاه بـالغزارة والضـاغط اللازمين عن طريق فرق المنسوب بين مدخل ومخرج المياه ΔZ
- تتعلق تغيرات الضاغط في النظام بتغيرات استهلاك المياه فقط

$$\Delta Z = R \cdot Q^2 \uparrow + \frac{P_{end}}{\rho \cdot g} \downarrow = R \cdot Q^2 \downarrow + \frac{P_{end}}{\rho \cdot g} \uparrow$$



- يمكن تحديد الغزارة الأعظمية التي يمكن تأمينها اعتماداً على الخط المميز للنظام
  - من أجل ارتفاع محدد للخزان ΔZ
  - ومن أجل ضاغط محدد عند نهاية الشبكة $\frac{p_{end}}{\rho \cdot g}$
- من الخط المميز للنظام ومن أجل ΔZ=30 m
  - يمكن تأمين 450 m^3/h عند $p_{end}/\rho.g$=20 m
  - يتم تأمين غزارة 630 m^3/h عند $p_{end}/\rho.g$=10 m

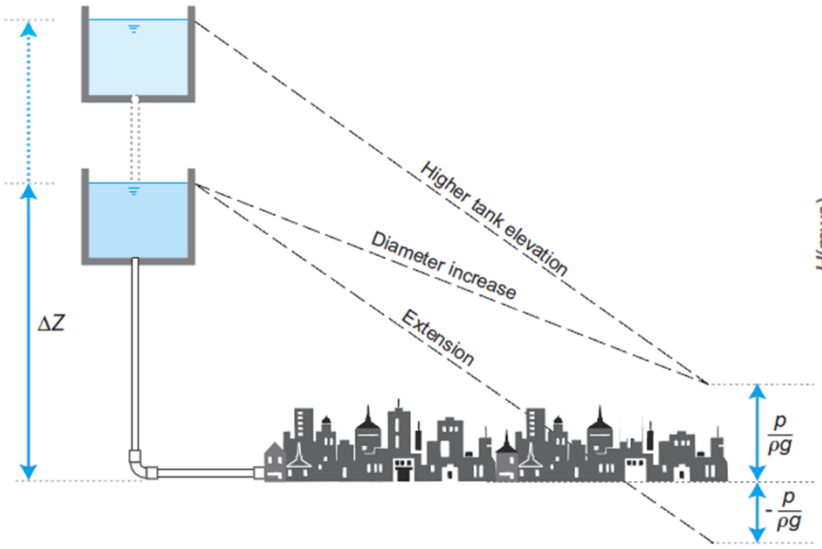
$$\Delta Z = R \cdot Q^2 + \frac{P_{end}}{\rho \cdot g}$$

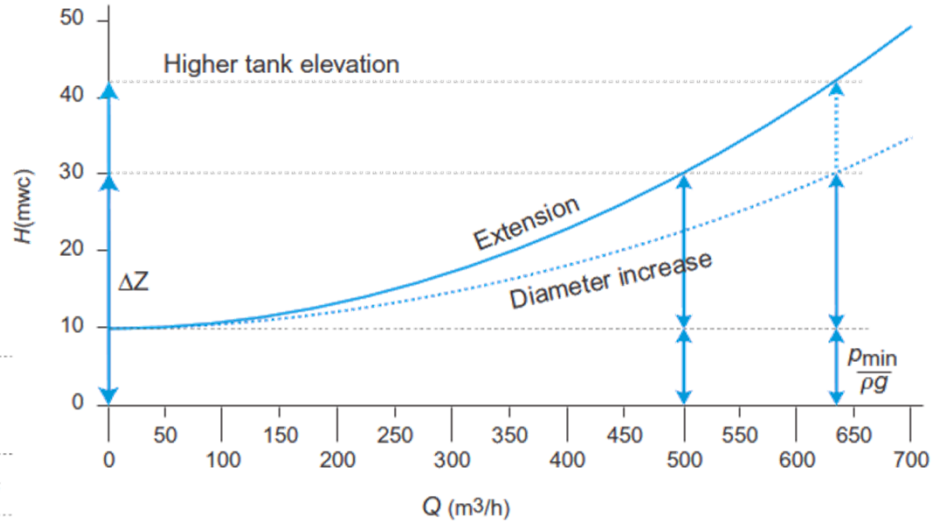


- عند توسيع شبكة المياه (زيادة أطوال الأنابيب) تتراجع كمية المياه المتاحة للسكان بسبب زيادة الطلب على المياه وزيادة طول الشبكة
- يمكن حل المشكلة باتباع أحد الأساليب التالية أو كلها:

1. رفع منسوب الخزان
   - هذا الحل غير ممكن التحقيق
2. زيادة قطر أنبوب التغذية
3. إضافة أنبوب على التوازي
4. إضافة مضخة باستطاعة مناسبة (نظام مختلط)

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

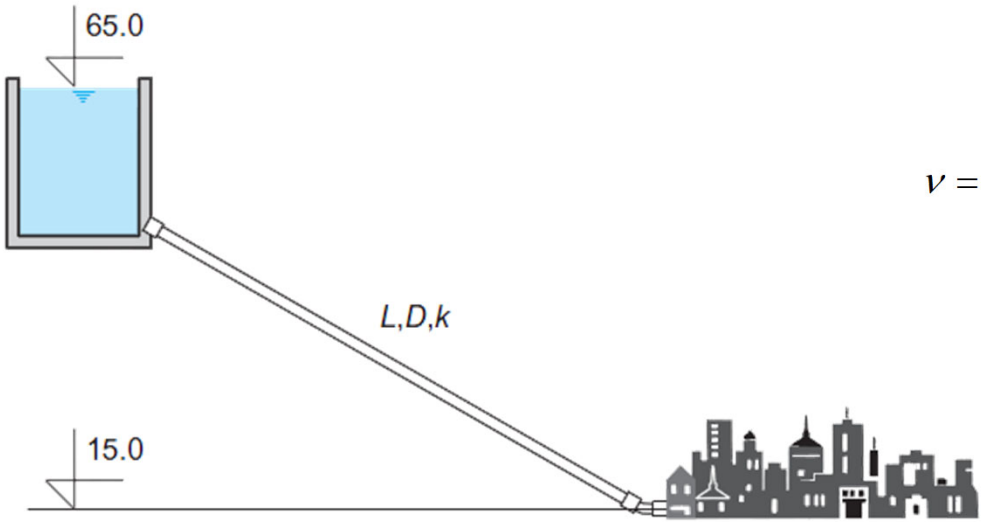




- مسألة 5-1:

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

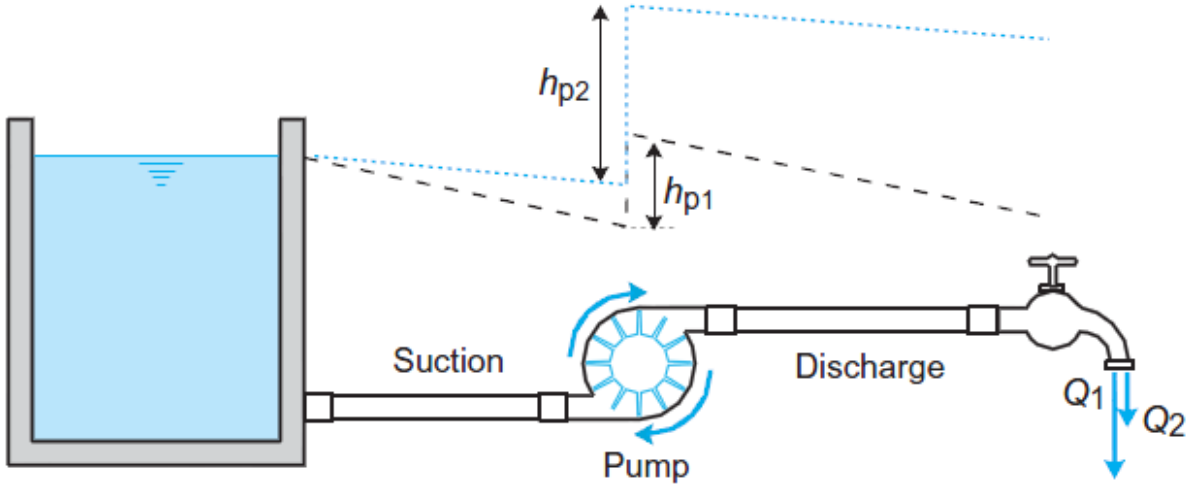
- L=3000 m, D=800 mm, k=0.5 mm
- الضاغط المطلوب عند بداية المدينة 35 m
- درجة حرارة المياه T=10 C^{o}

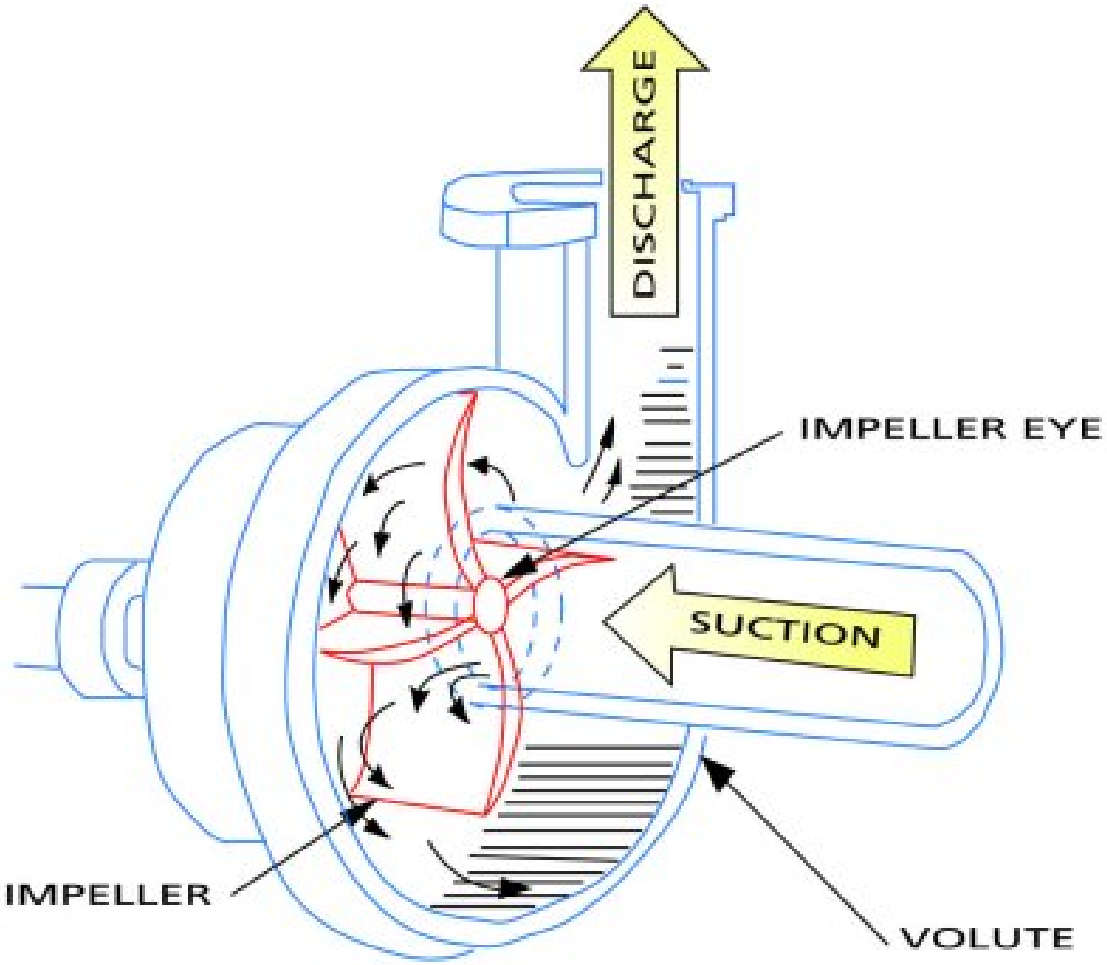


$$\nu = \frac{497 \cdot 10^{-6}}{(T + 42.5)^{1.5}} \qquad \lambda = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{k}{3.7 \cdot D} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right)\right]^2}$$

نظام الضخ

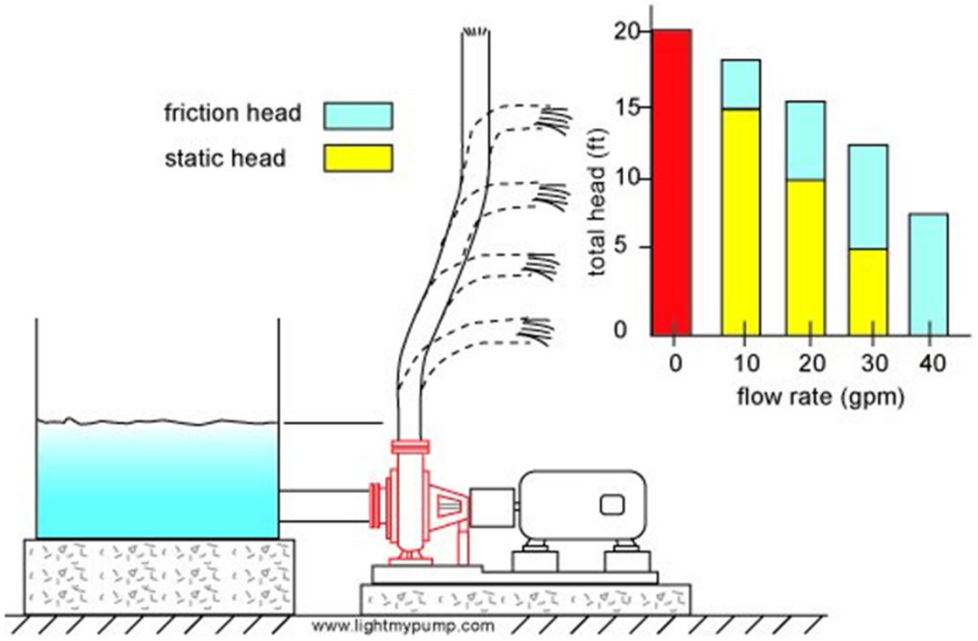
- عند تركيب مضخة:
  - تقوم المضخة بتقديم الطاقة اللازمة لتحريك المياه ضمن النظام
  - تظهر هذه الطاقة بشكل ضاغط
  - يمثل ضاغط المضخة h_p: الفرق بين مستويي الطاقة عند مدخل المضخة (أنبوب السحب) وعند مخرجها (أنبوب الضخ)

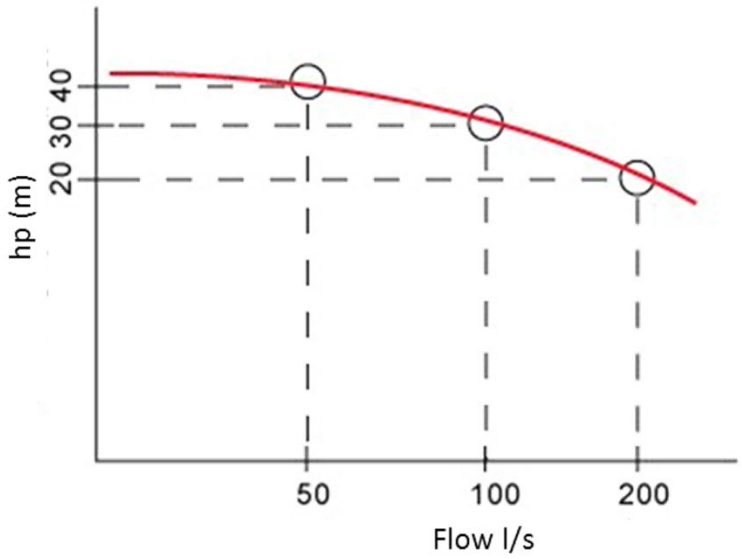



DISCHARGE
IMPELLER EYE
SUCTION
IMPELLER
VOLUTE

المنحنيات المميزة للمضخة

- يتم وصف الأداء الهيدروليكي للمضخة باستخدام المنحني المميز للمضخة
  - يظهر العلاقة بين رفع المضخة وغزارة الضخ
    - من أجل غزارة معينة يتم الضخ إلى ارتفاع معين
    - يتناسب الارتفاع عكساً مع الغزارة





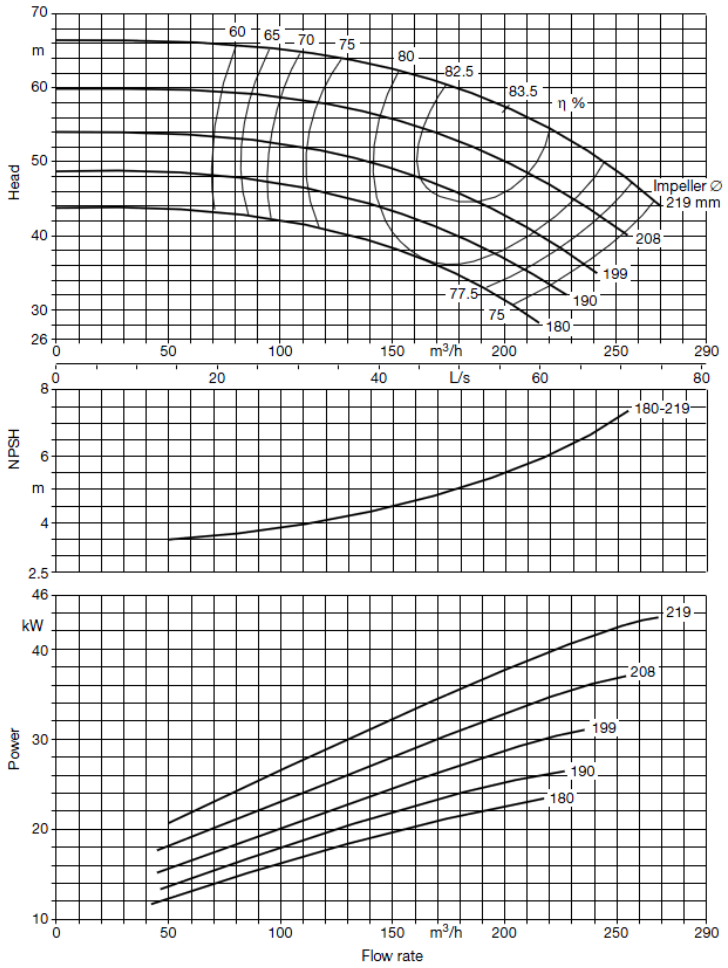
- من أجل عدد معين من دورات المضخة توجد علاقة بين الغزارة المضخوخة وارتفاع الضخ من الشكل

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

- هناك شكل آخر للمعادلة يمكن استخدامه

$$h_p = c - aQ^b$$

  - a, b, c: ثوابت تتعلق بنوع المضخة والواحدات المستخدمة
  - برسم هذه العلاقة نحصل على منحني يسمى الخط المميز للمضخة

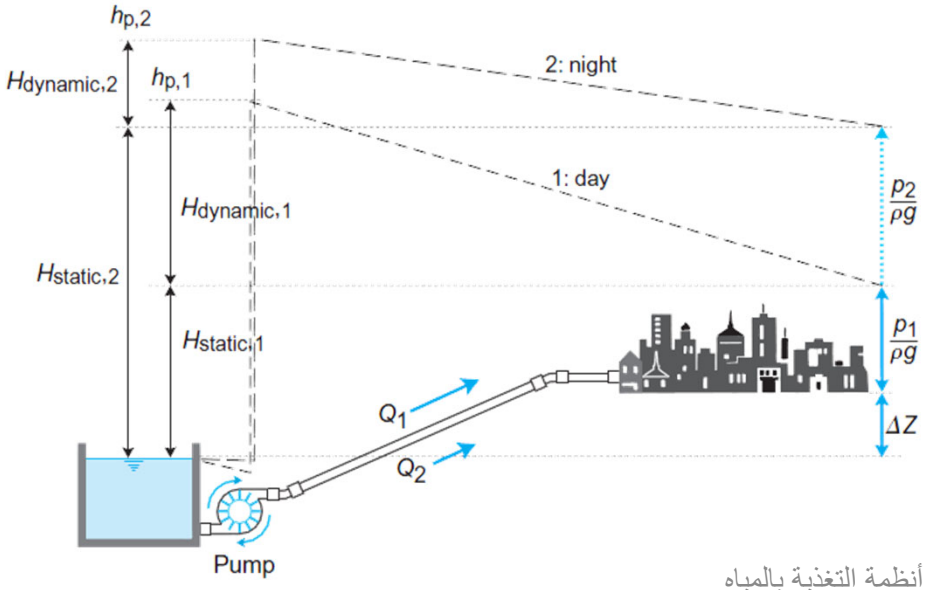


- تعطـــى المنحنيـــات المميـــزة للمضخة من الشركة الصانعة
  - تكون بمثابة هوية لها
  - يظهـر الشـكل حزمـة المنحنيـات المميزة لنموذج مضخة من أجل أقطار فراش متعددة

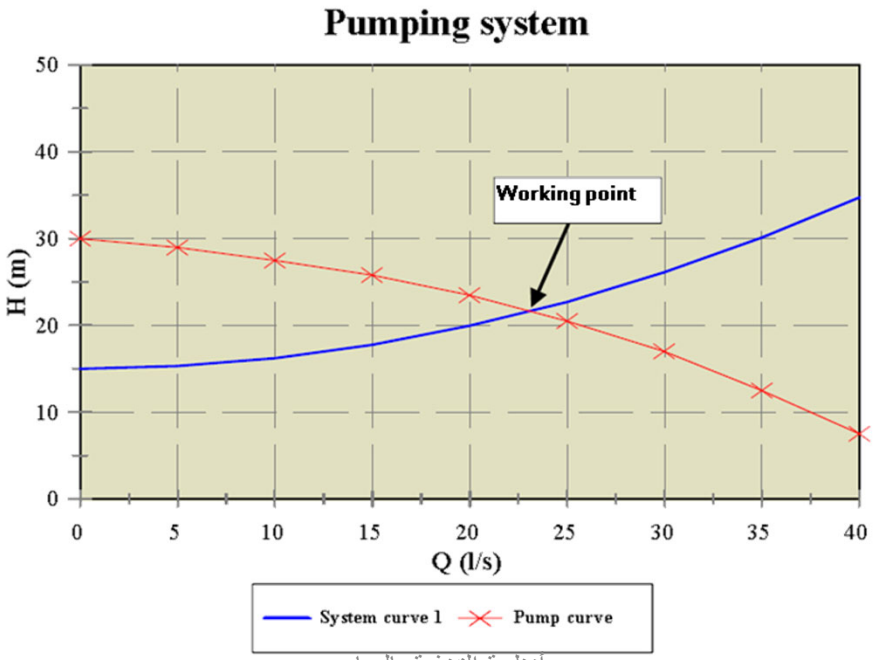
- تقوم المضخات برفع المياه من منسوب منخفض إلى منسوب أعلى، ويعطى ضاغط المضخة بالعلاقة:

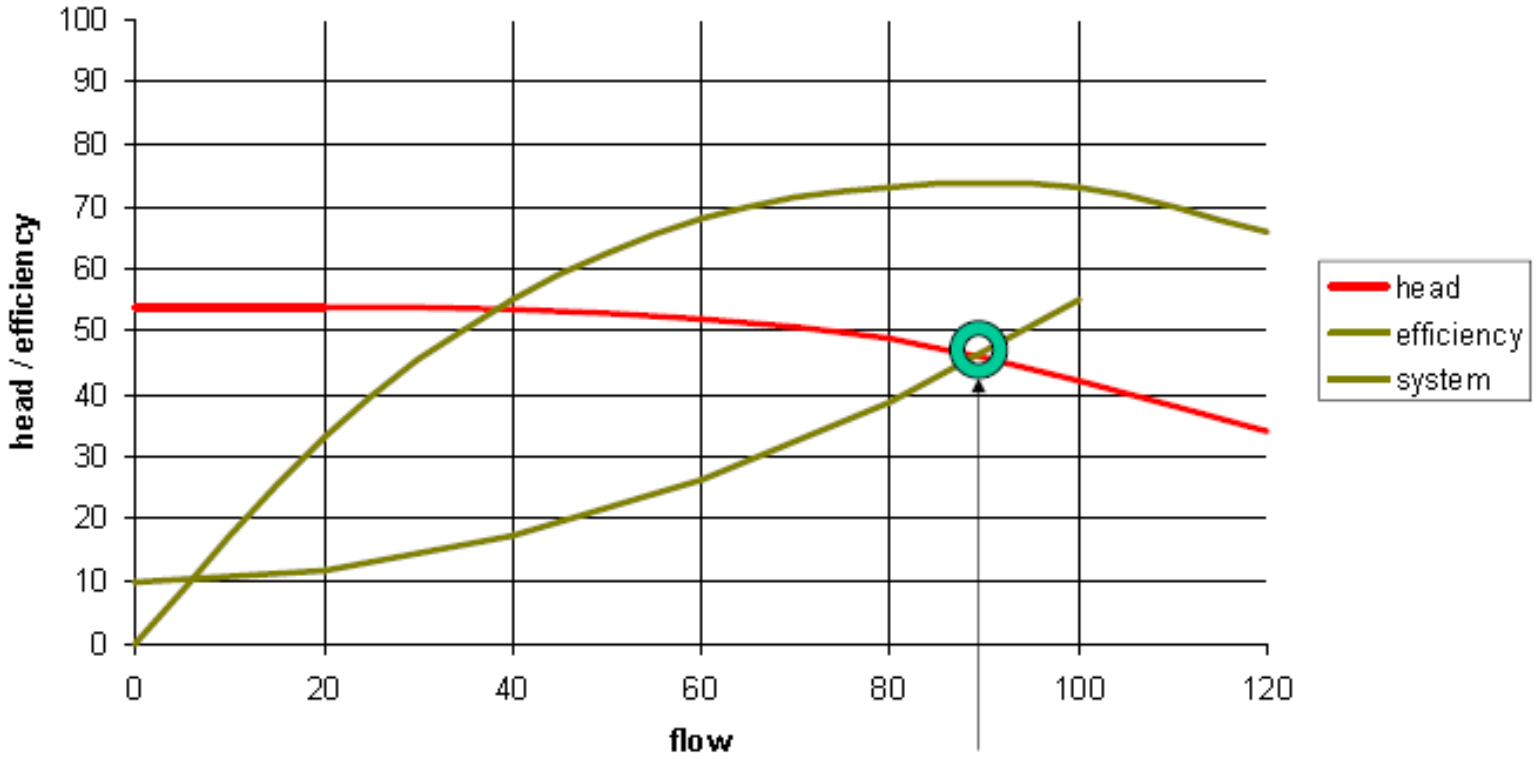
$$h_P = H_{dyn} + \underbrace{\Delta Z + \frac{P_{end}}{\rho \cdot g}}_{\text{الضاغط الستاتيكي}}$$

- عند ضخ المياه مباشرة في شبكة التغذية يتم مراعاة تغيرات الاستهلاك عن طريق تنظيم برنامج عمل للمضخة (المضخات)
- الضاغط اللازم خلال ساعات النهار أعلى منه خلال الليل
  - بسبب زيادة الطلب على المياه وبالتالي زيادة الفواقد
- النتيجة انخفاض الضاغط خلال النهار وارتفاعه خلال الليل



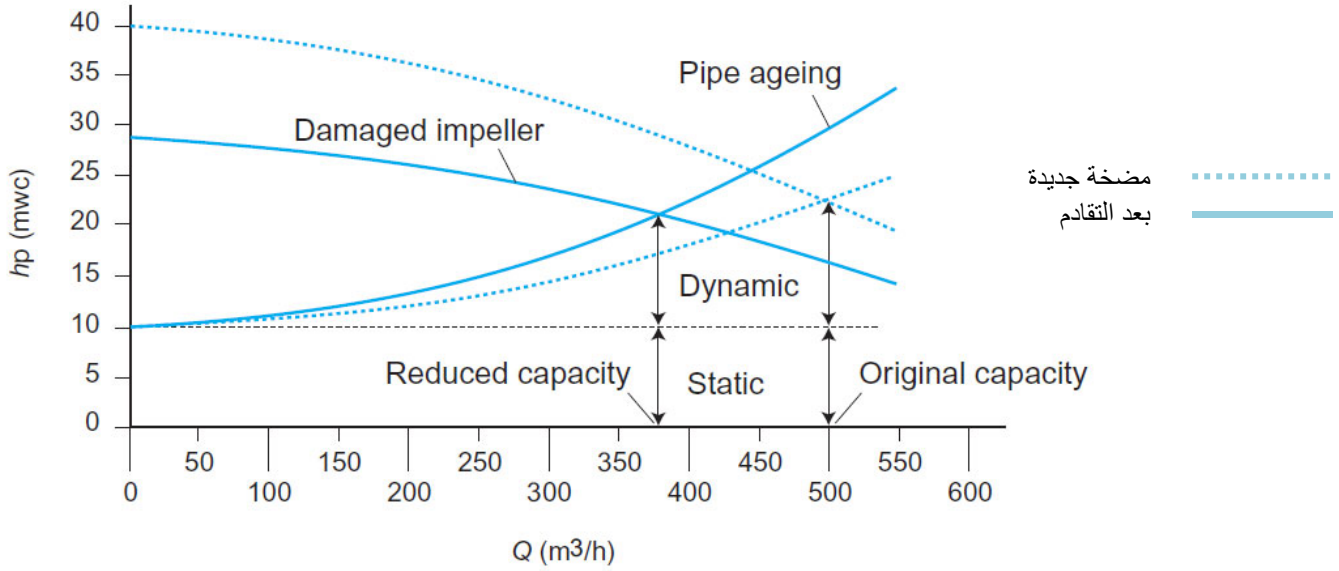
- عند ضخ المياه في شبكة تغذية، يتم تحديد غزارة الضخ والضاغط من الخط المميز لكل من المضخة والشبكة
  - تسمى نقطة تقاطع المنحنيين نقطة العمل المشتركة
  - تحدد ضاغط المضخة اللازم لضخ كمية المياه المطلوبة وتأمين الضاغط الستاتيكي المطلوب
    - فرق المنسوب + الضاغط الواجب توفره عند نقطة المخرج





Pump operates where pump and system curve intersect

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



- الطاقة الواجب أن تقدمها المضخة لرفع المياه N (Watt)

$$N = \rho g Q h_P$$

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:

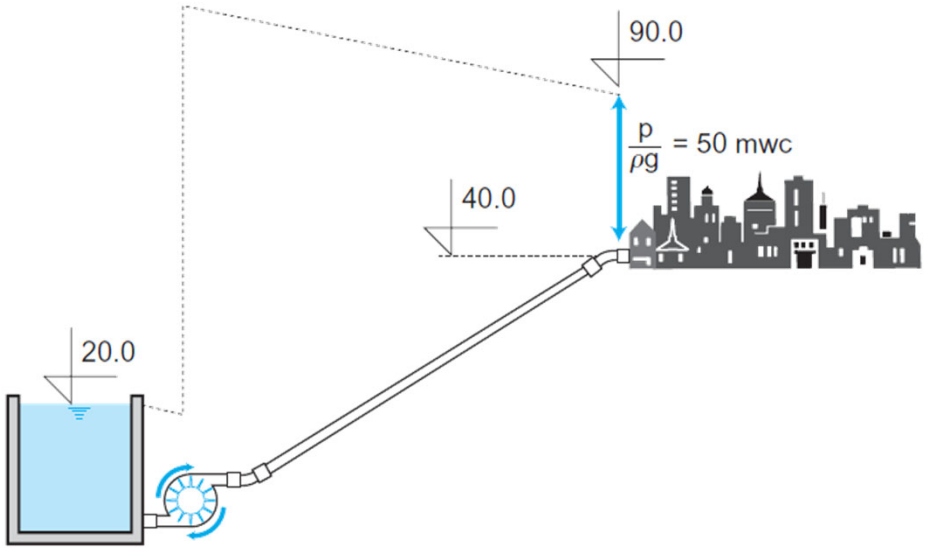
$$N_m = \frac{N_P}{\eta_m}$$

– حيث η_m مردود المحرك

- مسألة 2-5:

– في نظام التغذية بالضخ المعطى في الشكل التالي يطلب:

- تحديد الضاغط اللازم للتزويد بغزارة قدرها $Q=4000\ m^3/h$ مع تحقيق ضاغط متبقي عند مدخل المدينة قدره 50 m
- مواصفات الأنبوب $k=0.4\ mm\ d=700\ mm\ L=3000\ m$
- تفرض درجة حرارة المياه 10°C

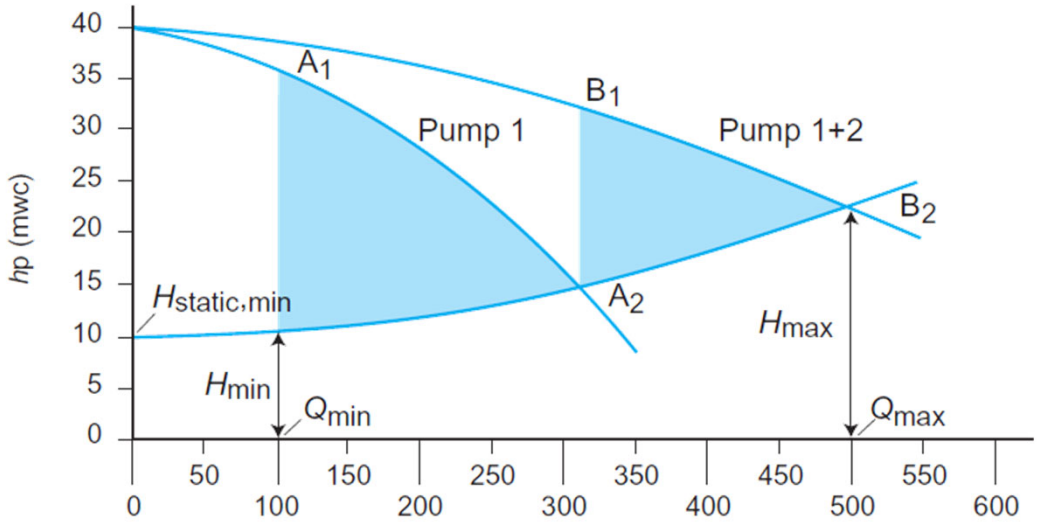


عمل مجموعة مضخات

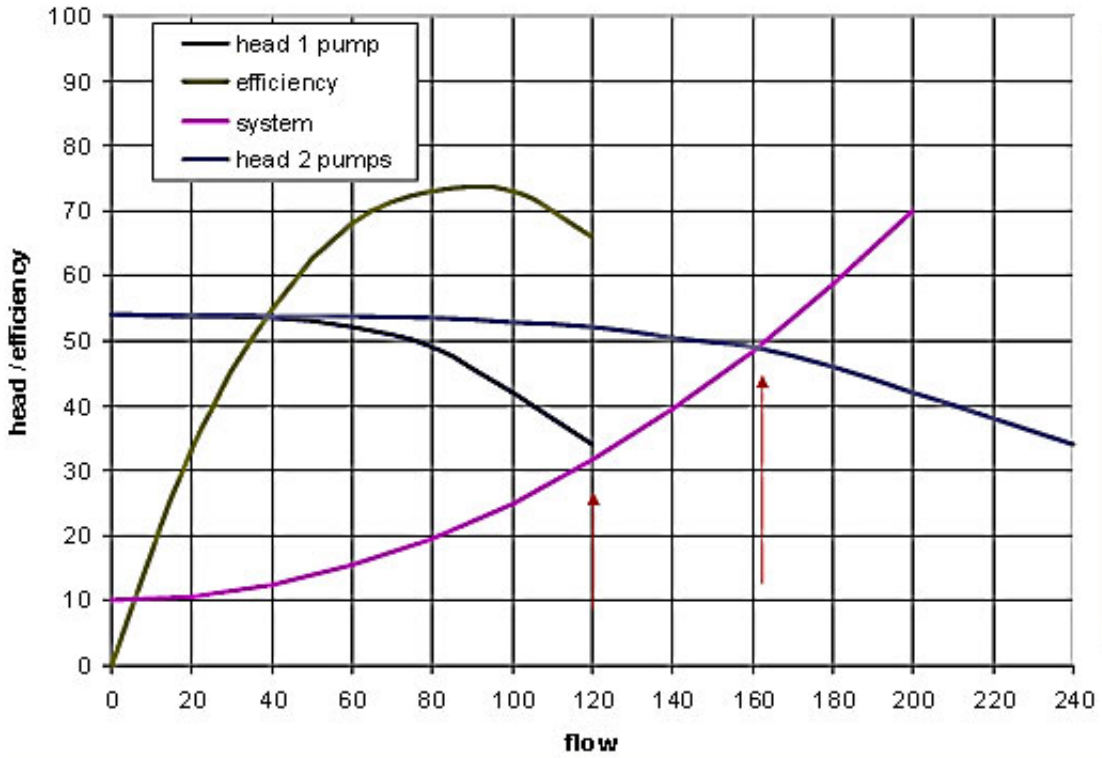
- الوصل على التوازي:
  - يتم الحصول على الخط المميز لجملة مضخات موصولة على التوازي بجمع غزارات الضخ ΣQ_i من أجل ضاغط ثابت h_p
  - من أجل n مضخة يمكن كتابة المعادلتين التاليتين:

$$h_p = h_1 = h_2 = \cdots = h_n$$

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots + Q_n$$



Pump hydraulics, single + dual pump



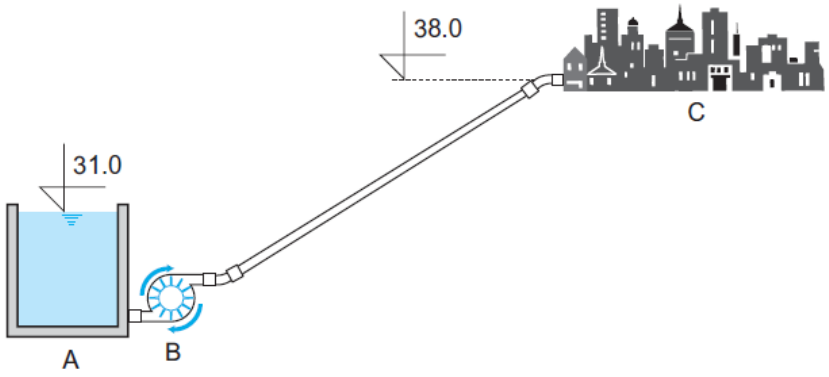
Example

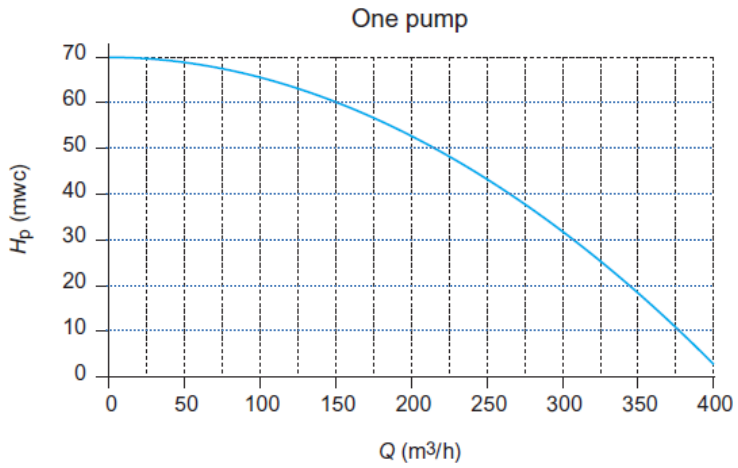
1 pump running:
total flow = 120 m3/h

2 pumps running:
total flow = 160 m3/h
flow per pump = 80 m3/h

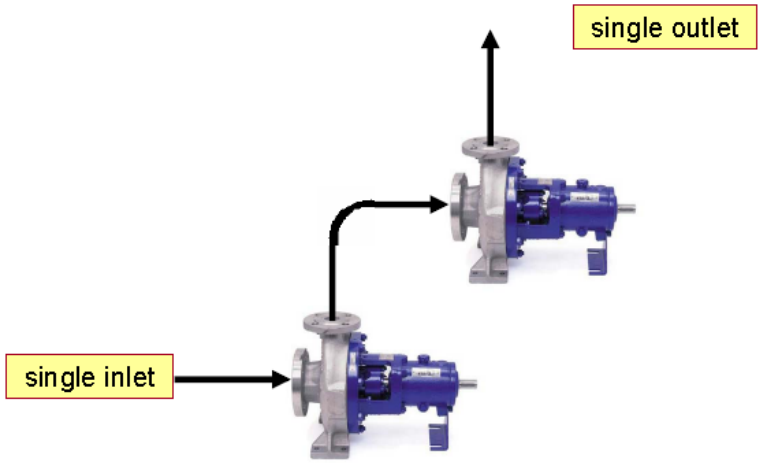
Note with 1 pump running, flow is more than 1/2 of 2 pumps running

- المسألة 5-3:
  - تقوم محطة الضخ B بتغذية شبكة المياه في المدينة C من الخزان A، يعطى الخط المميز للمضخة في المخطط المرفق
  - مواصفات الأنبوب:
    - $\lambda = 0.02$ ، $L=1100$ m ، $d=250$ mm
  - الضاغط الأدنى المطلوب تحقيقه عند مدخل المدينة 25 m
  - المطلوب:
    1. تحديد الغزارة العظمى التي يمكن ضخها عند عمل مضخة واحدة
    2. تحديد استطاعة محرك المضخة إذا كان $\eta_p=0.75$, $\eta_m=0.85$
    3. تحديد الغزارة العظمى التي يمكن ضخها إذا عملت مضختان متماثلتان موصولتان على التوازي
    4. تحديد الغزارة العظمى التي يمكن ضخها في الحالتين 1 و 3 إذا وصل أنبوب آخر مماثل على التوازي مع الأنبوب المعطى





- الوصل على التسلسل:
  - يستخدم في حال وجود تغيرات كبيرة في الضاغط مع بقاء تغيرات الغزارة المضخوخة ضمن حدودها الدنيا
  - تضخ الأولى المياه إلى الثانية التي تضخ المياه بدورها إلى الثالثة...، وتضخ الأخيرة المياه في أنبوب الضخ
  - شرط عمل مجموعة مضخات موصولة على التسلسل أن تكون الغزارة التي تضخها كل مضخة أكبر من الغزارة الكلية المراد ضخها



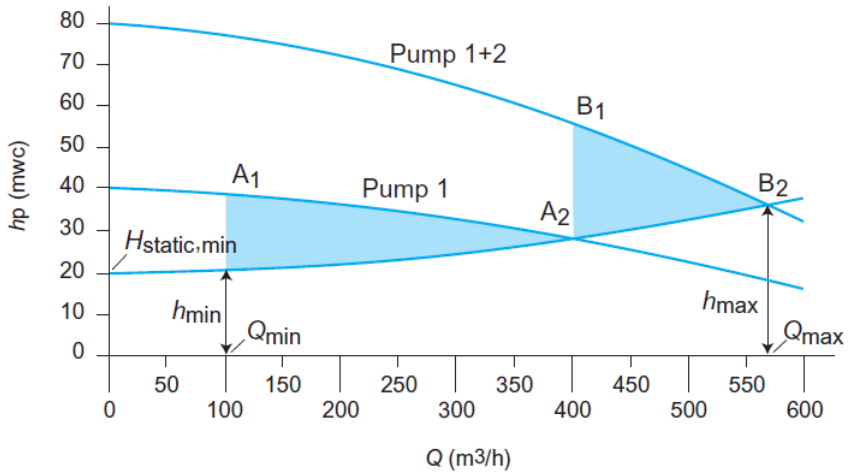
– الضاغط الكلي لجملة مضخات موصولة على التسلسل هو مجموع ضواغط المضخات المنفردة

- يتم الحصول عليه من الخطوط المميزة للمضخات بجمع ضواغط المضخات المنفردة Σh_i عند غزارة ثابتة Q

– من أجل n مضخة يمكن كتابة المعادلتين التاليتين:

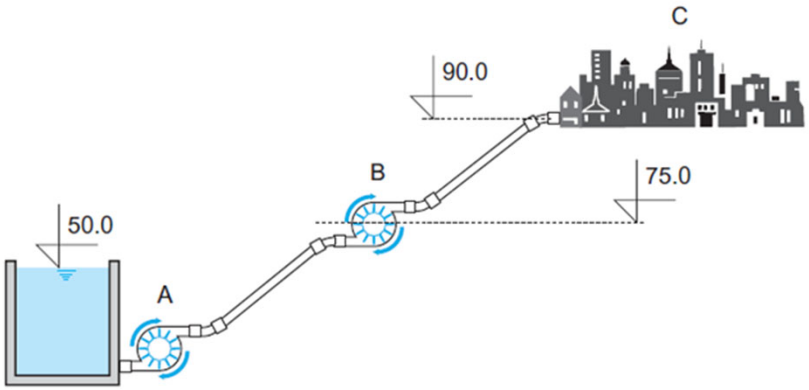
$$Q_p = Q_1 = Q_2 = \cdots = Q_n$$

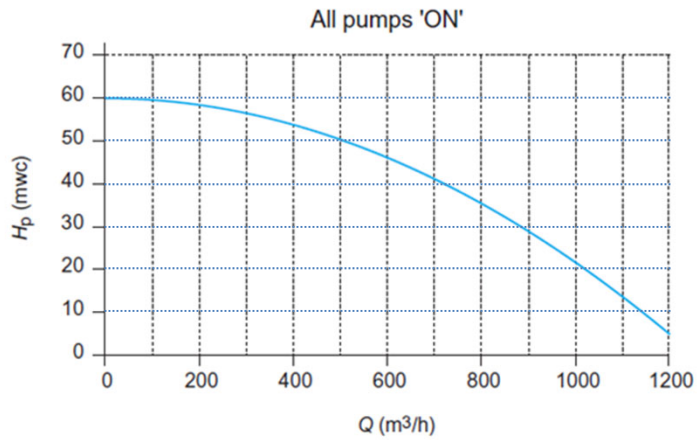
$$h_p = h_1 + h_2 + h_3 + \cdots + h_n$$



الخط المميز لمضختين متماثلتين موصولتين على التسلسل

- مسألة 4-5:
  - من أجل النظام الموضح في الشكل يطلب تحديد الضاغط عند مدخل المدينة من أجل غزارة Q=800 m^3/h
  - مواصفات الأنابيب المستخدمة كالتالي:
    - A-B: L=1500m, d=500 mm, k=0.5 mm
    - B-C: L=1200 m, d=400 mm, k=0.1 mm
  - المضختان متماثلتان تعملان وفقاً للخط المميز المعطى في الشكل المجاور
  - تفرض درجة حرارة المياه 10°C





الأنظمة المركبة

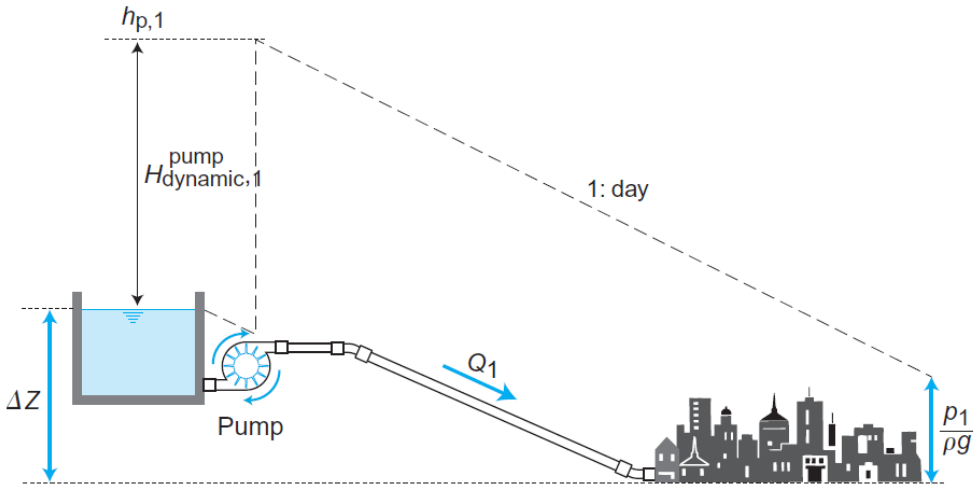
- يتم في الأنظمة المركبة تغذية السكان بالمياه بشكل مشترك عن طريق الضخ وعن طريق الخزانات
- توجد ثلاثة أشكال للأنظمة المشتركة

1. خزان- مضخة- شبكة: حيث يتم ضخ المياه من خزان ضمن شبكة التوزيع مباشرة
2. مضخة- خزان- شبكة: حيث يتم ضخ المياه إلى خزان توزع المياه منه إلى الشبكة بالراحة
3. مضخة- شبكة- خزان (نظام التقابل): يقع الخزان ومحطة الضخ على الطرفين المتقابلين للشبكة

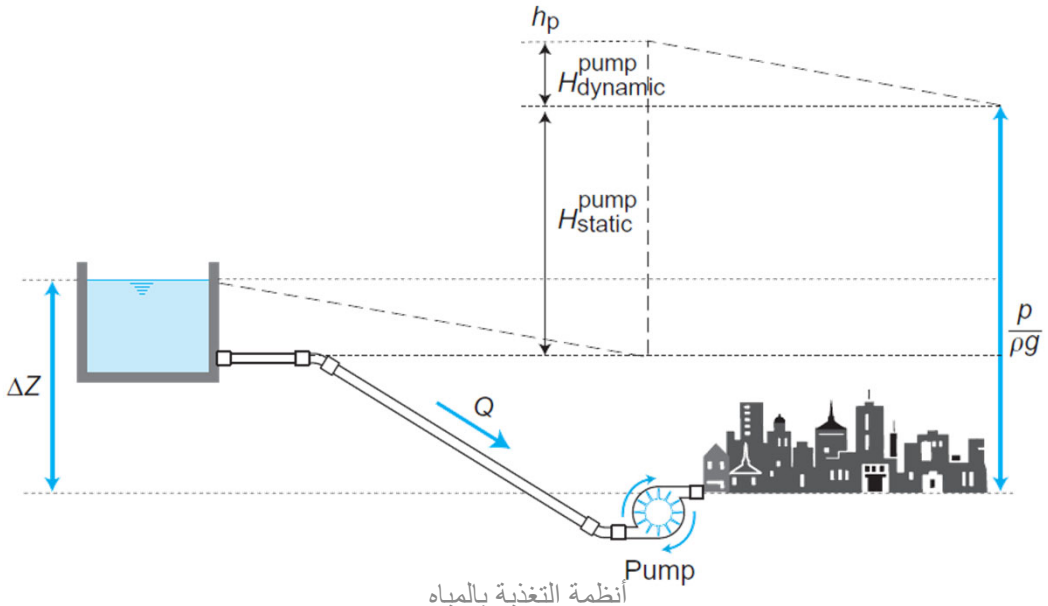
خزان- مضخة- شبكة

- 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
  - مشابه لنظام الضخ لكن الخزان يقع بمنسوب أعلى من منسوب المدينة
- في هذه الحالة يتم ضخ المياه مباشرة ضمن الشبكة
  - يتم خفض الضاغط اللازم للمضخة بمقدار فرق المنسوب بين الخزان والشبكة

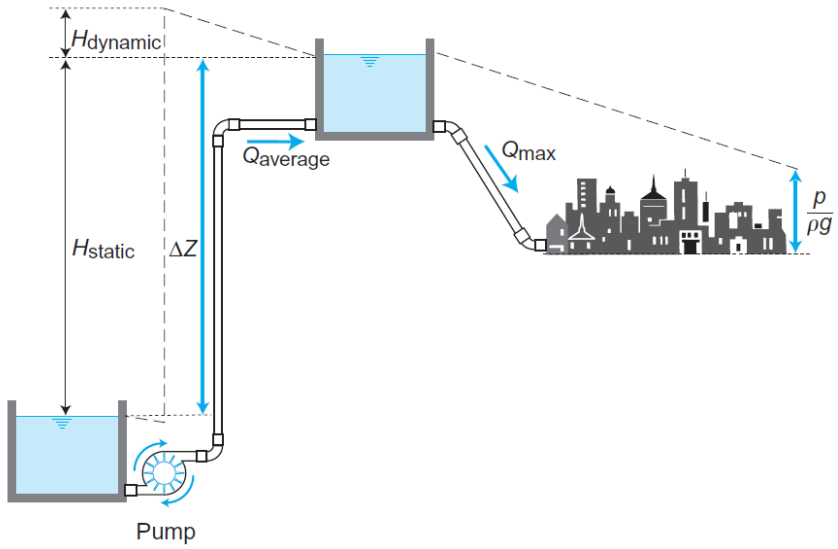
$$h_p + \Delta Z = H_{dyn} + H_{st} = \Delta H + \frac{P_{end}}{\rho g}$$



- ليس من الضروري تركيب محطة الضخ قرب شبكة التغذية إذا كان منسوب الخزان أعلى من الشبكة
  - يتم اللجوء إلى هذا الحل عندما يراد تجنب الضاغط المرتفع على كامل خط الضخ
  - إذا تم تركيب المضخات على الشبكة مباشرة (دون خزان سحب) تسمى المضخات بمضخات تعزيز الرفع (Booster)



مضخة- خزان- شبكة



- يمكن اللجوء إلى هذا النظام في المناطق الجبلية (أو في حالة الخزانات البرجية)
  - تضخ المياه إلى الخزان
    - ضاغط المضخة

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

  - توزع المياه من الخزان إلى الشبكة بالراحة
    - ضاغط الشبكة

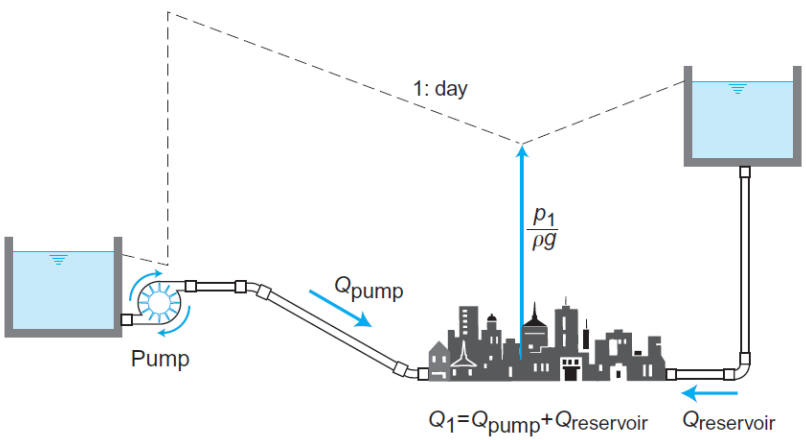
$$\Delta Z = H_{dyn} + \frac{P_{end}}{\gamma}$$

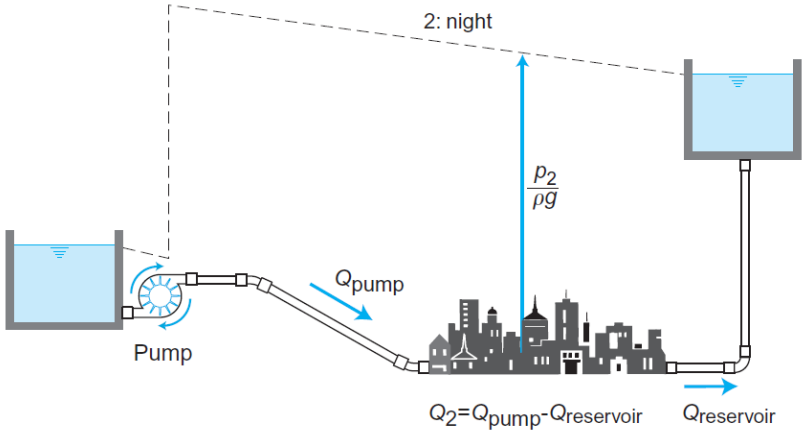
- ميزات النظام:

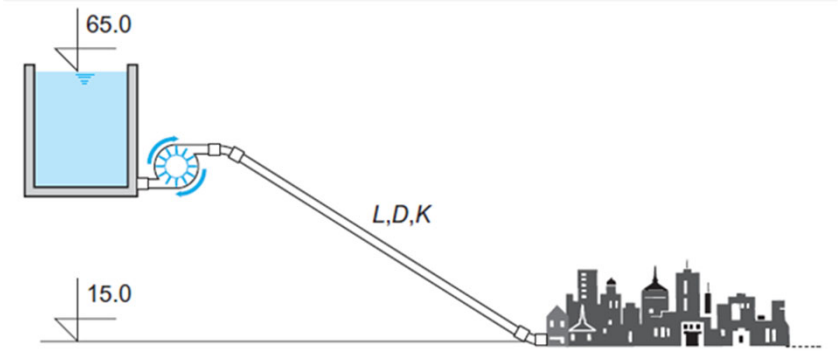
1. عمل منتظم للمضخات
2. تحوي الخزانات على احتياطي يستخدم في حال تعطل المضخات

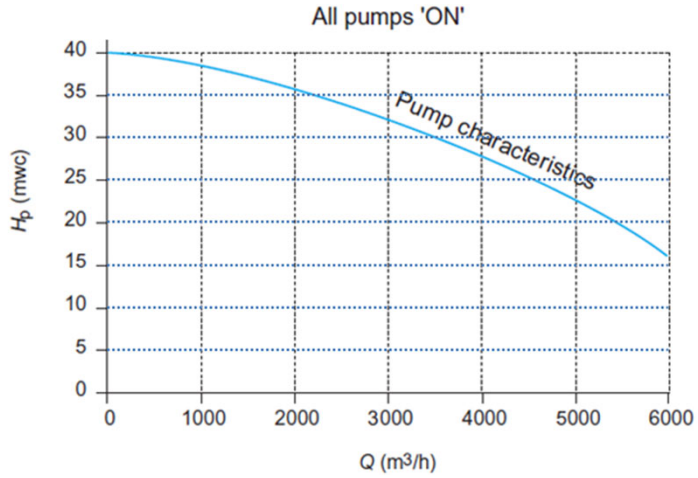
مضخة- شبكة- خزان

- المضخة والخزان يقعان على جهتين متقابلتين من الشبكة
  - 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 تدخل المياه الفائضة عن حاجة المدينة إلى الخزان
    - يسمى الخزان في هذه الحالة بخزان التقابل

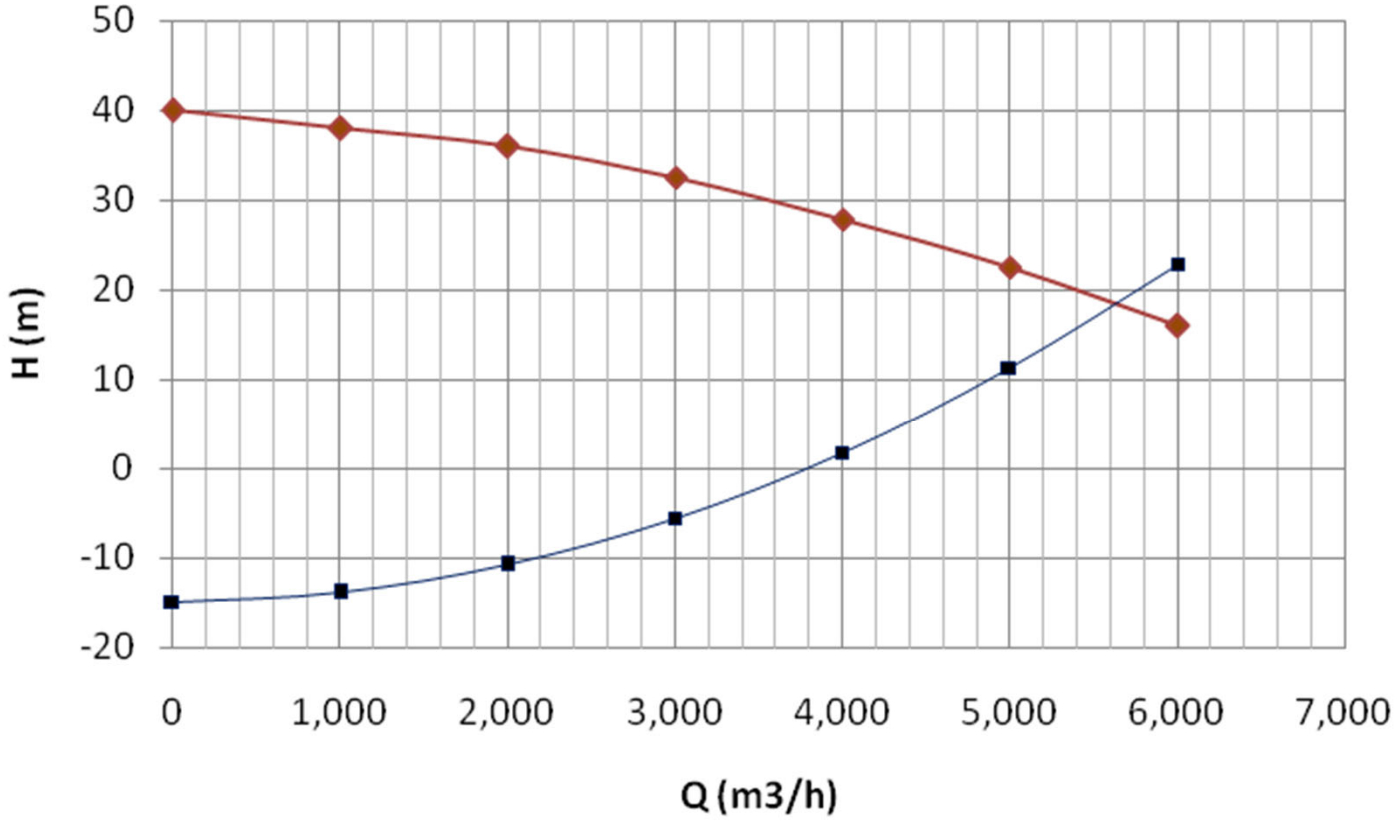








- مسألة 5-5:
  - من أجل النظام المستخدم في الشكل المجاور، تعمل المضخة وفقاً للخط المميز المعطى في الشكل، المطلوب:
    - تحديد الغزارة التي يمكن ضخها إذا كان الضاغط المطلوب عند مدخل المدينة لايقل عن (35 m)
    - تحديد الضاغط الفعلي عند مدخل المدينة إذا تم ضخ غزارة مياه $Q=1.05\ m^3/s$
    - مواصفات الأنبوب:
      - L=3000 m, D=800 mm
    - تفرض $\lambda=0.018$


50
40
30
20
10
0
-10
-20
H (m)
0
1,000
2,000
3,000
4,000
5,000
6,000
7,000
Q (m3/h)