البـــاب الرابـــع

تصميم مجارى الهواء

Air Duct Design

بعد دراسة نظم تكييف الهواء وحساب أحمال التبريد والتدفئة ودورات التكييف المركزى للهواء إلى درجة الحرارة والرطوبة النسبية المطلوبة والتى تحقق الراحة الحرارية فى المكان، فإنه يلزم نقل الهواء المكيف خلال مجارى أو ممرات من وحدة مناولة الهواء وتوزيعه على الغرف والأماكن المطلوب تكييفها، ويتكون نظام نقل الهواء من مجرى رئيسى به مروحة دفع الهواء عند مخرج وحدة مناولة الهواء ويتفرع إلى ممرات ومخارج إلى الأماكن والغرف، ويوجد فى بعض الأحوال ممرات للهواء الراجع ومروحة سحب الهواء من الأماكن المكيفة، وقبل تصميم مجارى الهواء يلزم دراسة المبنى المطلوب تكيفه وتحديد أماكن تثبيت المجارى ومخارج إمداد الهواء للغرف وأيضاً الهواء الراجع، وحساب معدلات الهواء اللازم لكل غرفة من حسابات الحمل الحرارى، وأختيار نوع مخارج الهواء ورسم مخطط توضيحى لشكل المجرى الرئيسى والممرات الفرعية موضحاً عليها طول كل خط، وحساب قطر المجرى الرئيسى والمجارى الفرعية إلى الأماكن المختلفة بإحدى طرق تصميم مجارى الهواء المعتمدة، ثم حساب قدرة المروحة اللازمة لدفع الهواء فى المجرى الرئيسى والمجارى الفرعية.

طرق تصميم مجارى الهواء

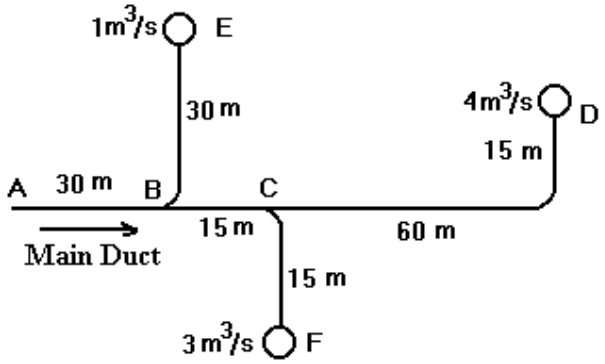
لتصميم مجارى الهواء اللازمة لنظام تكييف هواء يلزم حساب مقدار الفقد فى الضغط فى المجرى الرئيسى وحساب القطر والسرعة حسب معدل تدفق الهواء الكلى ثم بعد ذلك المجارى الفرعية، ويوجد عدة طرق لتصميم مجارى الهواء منها طريقة تساوى الأحتكاك، طريقة فرض السرعة التناقصية، طريقة فرض السرعة الثابتة ثم طريقة الاسترجاع الإستاتيكى، وسوف نذكر هنا طريقة تساوى الأحتكاك وطريقة فرض السرعة التناقصية لسهولة استخدامهما لسرعات هواء فى المجرى الرئيسى أقل من أو تساوى *10 m/s*.

طريقة تساوى الأحتكاك Equal friction method

فى هذه الطريقة نحسب كمية الهواء اللازمة لكل غرفة من حسابات الحمل الحرارى، نحسب معدل تدفق الهواء فى كل مجرى فرعى والمجرى الرئيسى، نختار سرعة مناسبة لمعدل سريان الهواء الكلى فى المجرى الرئيسى القريب من المروحة، نحسب الفقد فى الضغط لكل متر فى المجرى الرئيسى والقطر المكافئ، نفرض تساوى الفقد فى الضغط لكل متر فى باقى المجارى الفرعية ونحسب القطر المكافئ والسرعة خلال كل مجرى فرعى، ولتوضيح تلك الطريقة نتتبع حل المثال التالى.

مثال ٤-١

فى الشكل المبين لنظام توزيع هواء، أحسب القطر والسرعة خلال المجرى الرئيسى والمجارى الفرعية المصنوعة من الصاج المجلفن.



المجرى الرئيسى A→B

نحسب معدل السريان الكلى فى المجرى الرئيسى من مجموع الهواء اللازم عند كل مخرج،

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_2$$

$$Q_t = 4 + 3 + 1 = 8 \quad m^3/s$$

نفرض سرعة مناسبة لسريان الهواء فى المجرى الرئيسى من جدول السرعات المسموحة للتطبيقات المختلفة بحيث لا تتعدى *10 m/s* ثم نحسب قطر المجرى الرئيسى من معادلة التدفق.

جدول (٤-١) السرعات المسموحة فى المجرى الرئيسى والمجارى الفرعية لبعض التطبيقات.

التطبيق	السرعة m/s			
	المجرى الرئيسى		المجارى الفرعية	
	هواء تغذية	هواء راجع	هواء تغذية	هواء راجع
مساكن	5	4	3	3

فنادق ومستشفيات	7.5	6.5	6	5
مكاتب ومكتبات	10	7.5	8	6
مسارح	6.5	5.5	5	4
بنوك ومطاعم ومحلات	10	7.5	8	6
كافتيريا	10	7.5	8	6

نفرض سرعة الهواء فى المجرى الرئيسى *8 m/s* .

$$V = 8 \quad m/s$$

$$Q_t = \frac{\pi}{4} d^2 V$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 8}{\pi \times 8}} = 1.128 \quad m$$

نحسب الفقد فى الضغط فى المجرى الرئيسى من المعادلة التالية،

$$\Delta P = \rho \frac{fL}{d} \frac{V^2}{2}$$

نحسب معامل خشونة السطح الداخلى إلى القطر تبعاً للمادة المصنوع منها المجرى،

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.00015}{1.128} = 0.000133$$

نحسب رقم رينولدز لسريان الهواء داخل المجرى الرئيسى بعد إيجاد كثافة الهواء ولزوجته من الجداول التالية عند درجة حرارة هواء التغذية.

جدول (٤-٢) كثافة ولزوجة الهواء عند درجات حرارة مختلفة.

درجة الحرارة ^oC	الكثافة ρ kg/m^3	اللزوجة μ Pa.s
-10	1.341	16.768×10^{-6}
0	1.292	17.238×10^{-6}
10	1.247	17.708×10^{-6}
20	1.204	18.178×10^{-6}
30	1.164	18.648×10^{-6}
40	1.127	19.118×10^{-6}
50	1.092	19.588×10^{-6}

جدول (٤-٣) معامل خشونة السطح لبعض المواد المستعملة لتصنيع مجارى الهواء.

نوع المادة	الخشونة ε, mm
حديد صلب	0.9 -9.0
خرسانة	0.3 – 3.0
خشب	0.18 – 0.9
حديد مسبوك	0.26
حديد مسبوك أسفلتى	0.12
صاج مجلفن	0.15
صلب تجارى	0.045
أنابيب ملفوفة	0.015
بلاستيك وزجاج ، ناعم	0.0

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1.184 \times 8 \times 1.128}{18.413 \times 10^{-6}} = 5.80 \times 10^{5}$$

من خريطة Moody بمعلومية رقم رينولدز Re والنسبة ε/d نحسب معامل الأحتكاك f ، ثم نحسب الفقد فى الضغط فى المجرى الرئيسى لكل وحدة طول.

$$f = 0.0145$$

$$\Delta P = \rho \frac{fL}{d} \frac{V^2}{2} = 1.184 \times \frac{0.0145 \times 30}{1.128} \times \frac{8^2}{2} = 14.61 \quad Pa$$

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{14.61}{30} = 0.487 \quad Pa/m$$

نثبت قيمة الهبوط فى الضغط لكل متر Pa/m فى كل المجارى الفرعية ونحسب القطر المكافئ بمعلومية معدل السريان فى المجرى بعد فرض معامل الأحتكاك، ثم نحسب سرعة السريان من معادلة التدفق، ثم نصحح معامل الأحتكاك من نتائج القطر والسرعة التى تم حسابهما ثم نكرر عملية التصحيح مرة أخرى حتى يكون الفرق بين كل تصحيح وأخر قيمة صغيرة فيكون القطر والسرعة هما القيم المطلوبة.

<u>المجرى الفرعى B→E</u>

نفرض معامل الأحتكاك f بقيمة مناسبة ولتكن القيمة السابقة ثم نحسب d ، V من علاقة معدل التدفق والفقد فى الضغط كما يلى.

$$Q = AV = \frac{\pi}{4} d^2 V$$

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2}, \quad V^2 = \frac{16Q^2}{\pi^2 d^4} \qquad , \qquad \frac{V^2}{2} = \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = \rho \frac{f}{d} \frac{V^2}{2} = \rho \frac{f}{d} \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4} = \rho f \frac{8Q^2}{\pi^2 d^5}$$

$$d = \sqrt[5]{\frac{8\rho f Q^2}{\pi^2 \Delta P / L}} = \sqrt[5]{\frac{8 \times 1.184 \times 0.0145 \times 1}{\pi^2 \times 0.487}} = 0.491 \quad m$$

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = 5.281 \quad m/s$$

نستخدم القطر d والسرعة V لحساب رقم رينولدز Re جديد وندخل خريطة Moody ثم نحسب f ونكرر الخطوات السابقة مرة أخرى.

التصحيح الأول لقيم d ، V يعطى:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1.184 \times 5.281 \times 0.491}{18.413 \times 10^{-6}} = 1.66 \times 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.00015}{0.491} = 0.000305$$

$$f = 0.016$$

$$d = 0.501 \quad m$$

$$V = 5.073 \quad m/s$$

التصحيح الثاني لقيم d ، V يعطى:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1.184 \times 5.073 \times 0.501}{18.413 \times 10^{-6}} = 1.63 \times 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.00015}{0.501} = 0.000299$$

$$f = 0.016$$

حصلنا على نفس معامل الأحتكاك ولذلك قيم d ، V لن تتغير وتكون هى القيم التالية.

$$d = 0.501 \quad m$$

$$V = 5.073 \quad m/s$$

نحسب معدل السريان فى المجرى من القطر والسرعة التى حصلنا عليهم ثم نتحقق من تتطابق القيم التصميمية لمعدل سريان الهواء مع قيم معدل سريان الهواء المحسوب.

$$Q_{cal} = AV = \frac{\pi}{4} d^2 V = \frac{\pi}{4} \times 0.501^2 \times 5.073 = 1.000069 \quad m^3/s$$

هذه قيمة مقبولة لأن القيمة التصميمية هى $Q = 1\ m^3/s$

المجرى الفرعي B→C

نفرض معامل الأحتكاك f بالقيمة السابقة ثم نحسب d ، V من علاقة معدل التدفق والفقد فى الضغط كما يلى.

$$d = \sqrt[5]{\frac{8\rho f Q^2}{\pi^2 \Delta P / L}} = \sqrt[5]{\frac{8 \times 1.184 \times 0.016 \times 7^2}{\pi^2 \times 0.487}} = 1.091 \quad m$$

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \times 7}{\pi \times 1.091^2} = 7.489 \quad m/s$$

نستخدم القطر d والسرعة V لحساب رقم رينولدز Re جديد وندخل خريطة Moody ثم نحسب f ونكرر الخطوات السابقة مرة أخرى.

التصحيح الأول لقيم d ، V يعطى:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1.184 \times 7.489 \times 1.091}{18.413 \times 10^{-6}} = 5.25 \times 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.00015}{1.091} = 0.000137$$

$$f = 0.0146$$

$$d = 1.071 \quad m$$

$$V = 7.768 \quad m/s$$

التصحيح الثانى لقيم d ، V يعطى:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1.184 \times 7.768 \times 1.071}{18.413 \times 10^{-6}} = 5.35 \times 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.00015}{1.071} = 0.00014$$

$$f = 0.0146$$

حصلنا على نفس معامل الأحتكاك ولذلك قيم d ، V لن تتغير وتكون هى القيم التالية.

$$d = 1.071 \quad m$$

$$V = 7.768 \quad m/s$$

نتحقق من تتطابق القيم التصميمية لمعدل سريان الهواء مع قيم معدل سريان الهواء المحسوبة.

$$Q_{cal} = AV = \frac{\pi}{4} d^2 V = \frac{\pi}{4} \times 1.071^2 \times 7.768 = 6.998 \quad m^3/s$$

هذه قيمة مقبولة لأن القيمة التصميمية هى $Q = 7\ m^3/s$

المجرى الفرعى C→F

نفرض معامل الأحتكاك f بالقيمة السابقة ثم نحسب d ، V من علاقة معدل التدفق والفقد فى الضغط كما يلى.

$$d = \sqrt[5]{\frac{8\rho f Q^2}{\pi^2 \Delta P / L}} = \sqrt[5]{\frac{8 \times 1.184 \times 0.0146 \times 3^2}{\pi^2 \times 0.487}} = 0.7632 \quad m$$

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \times 3}{\pi \times 0.7621^2} = 6.557 \quad m/s$$

نستخدم القطر d والسرعة V لحساب رقم رينولدز Re جديد وندخل خريطة Moody ثم نحسب f ونكرر الخطوات السابقة مرة أخرى.

التصحيح الأول لقيم d ، V يعطى:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1.184 \times 6.557 \times 0.7632}{18.413 \times 10^{-6}} = 3.22 \times 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.00015}{0.7632} = 0.000197$$

$$f = 0.0163$$

$$d = 0.780 \quad m$$

$$V = 6.275 \quad m/s$$

التصحيح الثانى لقيم d ، V يعطى:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1.184 \times 6.275 \times 0.780}{18.413 \times 10^{-6}} = 3.15 \times 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.00015}{0.780} = 0.000192$$

$$f = 0.0164$$

نفس معامل الأحتكاك الذى استخدمناه ولذلك قيم القطر والسرعة لم تتغير.

$$d = 0.780 \quad m$$

$$V = 6.275 \quad m/s$$

نتحقق من تتطابق القيم التصميمية لمعدل سريان الهواء مع قيم معدل سريان الهواء المحسوبة.

$$Q_{cal} = AV = \frac{\pi}{4} d^2 V = \frac{\pi}{4} \times 0.78^2 \times 6.275 = 2.9984 \quad m^3/s$$

هذه قيمة مقبولة لأن القيمة التصميمية هى $Q = 3\ m^3/s$

المجرى الفرعي C→D

نفرض معامل الأحتكاك f بالقيمة السابقة ثم نحسب d ، V من علاقة معدل التدفق والفقد فى الضغط كما يلى.

$$d = \sqrt[5]{\frac{8\rho f Q^2}{\pi^2 \Delta P / L}} = \sqrt[5]{\frac{8 \times 1.184 \times 0.0164 \times 4^2}{\pi^2 \times 0.487}} = 0.8764 \quad m$$

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \times 4}{\pi \times 0.8551^2} = 6.630 \quad m/s$$

نستخدم القطر d والسرعة V لحساب رقم رينولدز Re جديد وندخل خريطة Moody ثم نحسب f ونكرر الخطوات السابقة مرة أخرى.

التصحيح الأول لقيم d ، V يعطى:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1.184 \times 6.630 \times 0.8764}{18.413 \times 10^{-6}} = 3.74 \times 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.00015}{0.8764} = 0.000171$$

$$f = 0.0157$$

$$d = 0.869 \quad m$$

$$V = 6.747 \quad m/s$$

التصحيح الثاني لقيم d ، V يعطى:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1.184 \times 6.747 \times 0.869}{18.413 \times 10^{-6}} = 3.77 \times 10^5$$

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.00015}{0.869} = 0.000173$$

$$f = 0.0159$$

$$d = 0.869 \quad m$$

$$V = 6.747 \quad m/s$$

الفرق بين التصحيح الثانى والتصحيح الأول ليس كبيراً ولذلك قيم V, d لم تتغير.

نتحقق من تتطابق القيم التصميمية لمعدل سريان الهواء مع قيم معدل سريان الهواء المحسوبة.

$$Q_{cal} = AV = \frac{\pi}{4} d^2 V = \frac{\pi}{4} \times 0.869^2 \times 6.747 = 4.002 \quad m^3/s$$

هذه قيمة مقبولة لأن القيمة التصميمية هى $Q = 4\ m^3/s$

نضع النتائج فى جدول كما هو مبين ليسهل استخدام النتائج بعد ذلك فى حسابات قدرة المروحة.

جدول النتائج

$\Delta P/L$ = 0.487 (Pa/m)						
Section	L (m)	Q (m^3/s)	V (m/s	d (m)	Q_{cal}	f
A-B	30	8	8.00	1.128	8.000	0.0145
B-C	15	7	7.77	1.071	6.998	0.0146
C-D	75	4	6.75	0.869	4.002	0.0159
B-E	30	1	5.07	0.501	1.000	0.016
C-F	15	3	6.275	0.780	2.998	0.0164

طريقة تساوى الأحتكاك باستخدام خرائط الفقد فى الضغط

لمجارى هواء مصنوعة من الصاج المجلفن لأنه شائع الاستخدام فى تصنيع مجارى الهواء يمكن استخدام خرائط الفقد فى الضغط لكل متر ومعدل التدفق لحساب القطر والسرعة لسريان هواء عند درجة حرارة $20\ ^oC$ ، وسوف نكرر حل المثال السابق باستخدام الخرائط بعد إجراء حسابات المجرى الرئيسى كما سبق وحساب الفقد فى الضغط لكل متر.

المجرى الرئيسى A→B

نحسب معدل السريان الكلى فى المجرى الرئيسى من مجموع الهواء اللازم عند كل مخرج.

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_2$$
$$Q_t = 4 + 3 + 1 = 8 \quad m^3/s$$

نفرض السرعة فى المجرى الرئيسى قيمة مناسبة ولتكن $V = 8\ m/s$ ثم بمعلومية معدل تدفق الهواء الكلى فى المجرى الرئيسى نحسب قطر المجرى الرئيسى من معادلة التدفق.

$$V = 8 \quad m/s$$
$$Q_t = \frac{\pi}{4} d^2 V$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 8}{\pi \times 8}} = 1.128 \quad m$$

نحسب الفقد فى الضغط فى المجرى الرئيسى من المعادلة التالية،

$$\Delta P = \rho \frac{fL}{d} \frac{V^2}{2}$$

نحسب معامل خشونة السطح الداخلى إلى القطر تبعاً للمادة المصنوع منها المجرى،

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.00015}{1.128} = 0.000133$$

نحسب رقم رينولدز لسريان الهواء داخل المجرى الرئيسى بعد إيجاد كثافة الهواء ولزوجته عند درجة حرارة هواء التغذية ولتكن 20 ^oC .

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{1.184 \times 8 \times 1.128}{18.413 \times 10^{-6}} = 5.80 \times 10^5$$

من خريطة Moody بمعلومية رقم رينولدز Re والنسبة ε/d نحسب معامل الأحتكاك f ، ثم نحسب الفقد فى الضغط فى المجرى الرئيسى لكل متر.

$$f = 0.0145$$
$$\Delta P = \rho \frac{fL}{d} \frac{V^2}{2} = 1.184 \times \frac{0.0145 \times 30}{1.128} \times \frac{8^2}{2} = 14.61 \quad Pa$$
$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{14.61}{30} = 0.487 \quad Pa/m \approx 0.5 \qquad Pa/m$$

للمجرى الرئيسى عند معدل التدفق الكلى 8 m^3/s و $\Delta P = 0.5\ Pa/m$ نقرأ القطر.

$$d = 1.135 \quad m$$

لكل مجرى فرعى عند الفقد فى الضغط لكل متر $\Delta P = 0.5\ Pa/m$ وبمعلومية معدل التدفق نقرأ قيمة القطر والسرعة ونضع النتائج فى جدول كما يلى:

جدول النتائج

$\Delta P/L$ = 0.5 (Pa/m)					
Section	L (m)	Q (m^3/s)	V (m/s	d (m)	Q_{cal}
A-B	30	8	8.00	1.135	8.094
B-C	15	7	7.80	1.080	7.145
C-D	75	4	6.90	0.875	4.149
B-E	30	1	4.80	0.515	0.999
C-F	15	3	6.30	0.780	3.010

طريقة السرعة التناقصية Velocity reduction method

فى هذه الطريقة نختار أقصى سرعة مناسبة للمجرى الرئيسى ثم نفرض قيم للسرعة تناقصية فى اتجاه السريان فى المجارى الفرعية، ثم بمعلومية معدل التدفق والسرعة المفروضة فى كل مجرى نقرأ القطر والفقد فى الضغط لكل متر، ويتضح من هذه الطريقة أن الفقد فى الضغط يختلف من مجرى إلى أخر ولذلك ينصح بتثبيت خانق للهواء للتحكم فى معدل التدفق فى كل مجرى على أن يترك فى الفرع الذى به أعلى فقد فى الضغط مفتوح كاملاً، وسوف نكرر حل المثال السابق باستخدام خرائط الفقد فى الضغط لكل متر.

المجرى الرئيسى A→B

نحسب معدل السريان الكلى فى المجرى الرئيسى من مجموع الهواء اللازم عند كل مخرج.

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_2$$
$$Q_t = 4 + 3 + 1 = 8 \quad m^3/s$$

نفرض السرعة فى المجرى الرئيسى قيمة قصوى ومناسبة ولتكن $V = 8\ m/s$ ثم بمعلومية معدل تدفق الهواء الكلى فى المجرى الرئيسى نقرأ القطر والفقد فى الضغط لكل متر من الخريطة.

$$d = 1.135 \quad m$$
$$\Delta P = 0.5 \quad Pa/m$$

لكل مجرى فرعى بعد المجرى الرئيسى نفرض قيم مناسبة للسرعة تناقصية فى اتجاه السريان.

$B \to C: \quad V = 7m/s$

$B \to E: \quad V = 7m/s$

$C \to D: \quad V = 6m/s$

$C \to F: \quad V = 6m/s$

لكل مجرى فرعى بمعلومية معدل التدفق والسرعة المفروضة نقرأ من الخريطة القطر وقيمة الفقد فى الضغط لكل متر، ثم نضع النتائج فى جدول.

جدول النتائج

Section	L (m)	Q (m^3/s)	V (m/s	d (m)	Q_{cal}	ΔP (Pa/m)
A-B	30	8	8.00	1.135	8.094	0.50
B-C	15	7	7.00	1.130	7.020	0.38
C-D	75	4	6.00	0.925	4.032	0.38
B-E	30	1	4.00	0.430	1.017	1.35
C-F	15	3	6.00	0.800	3.016	0.45

نلاحظ أن المجرى الفرعى B→E فقد الضغط به كبير مقارنة بالمجرى الرئيسى والمجارى الفرعية الأخرى وأيضاً قطره صغير مقارنة بقطر المجرى الرئيسى الذى هو فرعى منه ولذلك المفاقيد الثانوية سوف تكون كبيرةً أيضاً، ولذلك يجب تعديل سرعة السريان ونقصانها خلال هذا المجرى لتقليل مفاقيد الأحتكاك والمفاقيد الثانوية، ولنختار سرعة مناسبة أخرى ولتكن 4 m/s ونقرأ القطر والفقد فى الضغط ونسجل النتائج فى جدول.

جدول النتائج بعد تصحيح المجرى الفرعى B→E

Section	L (m)	Q (m^3/s)	V (m/s	d (m)	Q_{cal}	ΔP (Pa/m)
A-B	30	8	8.00	1.135	8.094	0.50
B-C	15	7	7.00	1.130	7.020	0.38
C-D	75	4	6.00	0.925	4.032	0.38
B-E	30	1	4.00	0.575	1.039	0.30
C-F	15	3	6.00	0.800	3.016	0.45

بعد حساب قطر المجرى الرئيسى والمجارى الفرعية لنظام نقل وتوزيع الهواء، وفى تطبيقات تكييف الهواء غالباً تستخدم مجارى هواء مستطيلة المقطع لتتناسب مع الفراغات المسموح بها فى المبانى والمعادلة التالية تستخدم فى إيجاد الأبعاد المكافئة للقطر الدائرى، ولذلك يجب فرض بعد وحساب الأخر من المعادلة التالية.

$$d = 1.3\frac{(ab)^{0.625}}{(a+b)^{0.25}}$$

مراوح الهواء Air Fan

تستخدم المراوح فى دفع الهواء المكيف فى مجارى نقل وتوزيع الهواء، وتثبت المروحة عادةً عند مخرج وحدة مناولة الهواء وبداية المجرى الرئيسى، ويجب أن تتغلب المروحة على الفقد فى الضغط فى الأجزاء المختلفة فى نظام توزيع الهواء، وبالرجوع إلى المبادئ الأساسية للسريان خلال الأنابيب وبتطبيق معادلة برنوللى نجد أن الضغط الكلى عند أى مقطع يساوى الضغط الأستاتيكى والضغط الديناميكى ومفاقيد الأحتكاك والمفاقيد الثانوية الناتجة عن الوصلات بين الأنابيب، وبتطبيق معادلة برنوللى وأهمال مفاقيد الأحتكاك والمفاقيد الثانوية بين مقطعين فى السريان نحصل على،

<u>معادلة برنوللى:</u>

$$\frac{P}{\rho}+\frac{V^2}{2}+gZ=C$$

$$P+\frac{\rho V^2}{2}+\rho gZ=C$$

$$P_S+P_V+P_Z=P_T$$

If $dZ=0,$

$$P_S+P_V=P_T,$$

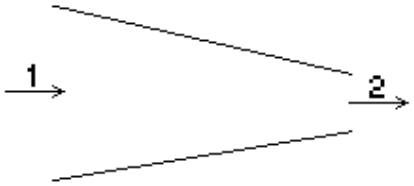
Where, P_S : Static Pressure, P_V : Velocity Pressure or Dynamic Pressure

P_T : Total Pressure.

$P_V=P_T-P_S$, where P_T , P_S are measuring by Pitotube.

$$P_V=\frac{\rho V^2}{2} \text{ or } V=\sqrt{\frac{2P_V}{\rho}}$$

بتطبيق معادلة برنوللى فى وجود مفاقيد الأحتكاك والمفاقيد الثانوية نحصل على:

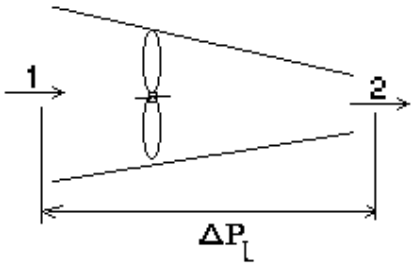


$$P_{S1} + P_{V1} = P_{S2} + P_{V2} = P_T$$

$$P_{S1} + P_{V1} = P_{S2} + P_{V2} + \Delta P_L$$

where, ΔP_L : total pressure drop or hydraulic losses between 1 and 2.

فى حالة وضع مروحة فى السريان وإضافة شغل فإن معادلة برنوللى تصبح:



$$P_{S1} + P_{V1} + FTP = P_{S2} + P_{V2} + \Delta P_L$$

where, *FTP* is the pressure rise due to the fan work and is called
the Fan Total Pressure.

$$\frac{P_{S1}}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + \frac{FTP}{\rho} = \frac{P_{S2}}{2} + \frac{V_2^2}{2} + \frac{\Delta P_L}{\rho}$$

where, ΔP_L : represents the losses pressure drop in the duct.

فى حالة السريان خلال المجارى والأنابيب فإن الضغط الأستاتيكى ينخفض باستمرار نتيجة:

<u>مفاقيد الأحتكاك:</u>

$$\Delta P_F = \rho \frac{fL}{d} \frac{V^2}{2}, \text{ where, } d : \text{hydraulic mean diameter}$$

<u>المفاقيد الثانوية:</u>

$$\Delta P_M = K \frac{\rho V^2}{2}, \text{ where, } K : \text{constant}$$

وبوضع مفاقيد الأحتكاك والمفاقيد الثانوية فى معادلة برنوللى مع وجود مروحة لبذل شغل على السريان تصبح معادلة برنوللى المعدلة أو معادلة الطاقة، وبفرض أن مروحة الهواء تسحب الهواء

الساكن من الوسط الخارجى وتدفعه إلى نظام توزيع الهواء فإن سرعة دخول الهواء نهملها وكذلك ضغط الدخول يساوى ضغط الخروج وهما ضغط جوى فإن معادلة الطاقة فى هذه الحالة كما يلى:

$$\therefore \text{Power} = \dot{m}\left[\sum \frac{\Delta P_F}{\rho} + \sum \frac{\Delta P_M}{\rho} + \frac{V_e^2}{2}\right]$$

$$= \dot{m}\left[\sum f \frac{L}{d}\frac{V^2}{2} + \sum K \frac{V^2}{2} + \frac{V_e^2}{2}\right]$$

If the air Fan has total efficiency, η_T

$\therefore$ The actual fan power is,

$$\text{Power}_{act} = \frac{\text{Power}}{\eta_T}$$

فى معادلة الطاقة لكى نحسب قدرة المروحة اللازمة لنقل وتوزيع الهواء فى نظام تكييف هواء معين فإنه يلزم حساب مفاقيد الأحتكاك والمفاقيد الثانوية، وحيث أن مروحة الهواء تثبت فى نهاية وحدة مناولة الهواء وبداية المجرى الرئيسى فإنه يجب معرفة الفقد فى الضغط فى كل جزء من وحدة مناولة الهواء، وفى الجدول التالى بعض القيم للفقد فى الضغط والمفاقيد الثانوية فى وحدة مناولة الهواء.

جدول (٤-٤) مفاقيد الضغط والمفاقيد الثانوية فى وحدة مناولة الهواء.

الفقد فى الضغط فى وحدة مناولة الهواء	
Component الجزء،	ΔP *(Pa or N/m^2)*
Damper خانق هواء،	50
Filter مرشح،	100
Cooling coil ملف تبريد،	150
Eliminators فواصل،	50
Heating coil ملف تسخين،	150
Air washer غسالة هواء،	100
Mixing and suction to fan خلط وسحب إلى المروحة،	50
المفاقيد الثانوية فى وحدة مناولة الهواء والمجارى	
Component الجزء،	k
Inlet مدخل مستدير الحافة،	0.40

0.30	مخرج المروحة للمجرى الرئيسى، Fan discharge to main duct
0.03	خروج فرع من مجرى رئيسى، فقد المجرى الرئيسى
0.40	خروج فرع من مجرى رئيسى، فقد المجرى الفرعى
0.75	دوران أو كوع ، Standard 90 elbow
0.75	تزايد تدريجى، Expander
0.05	تناقص تدريجى، Reducer
0.20	خانق فى مجارى الهواء، Damper
0.50	مخارج الهواء للغرف، Exit grille

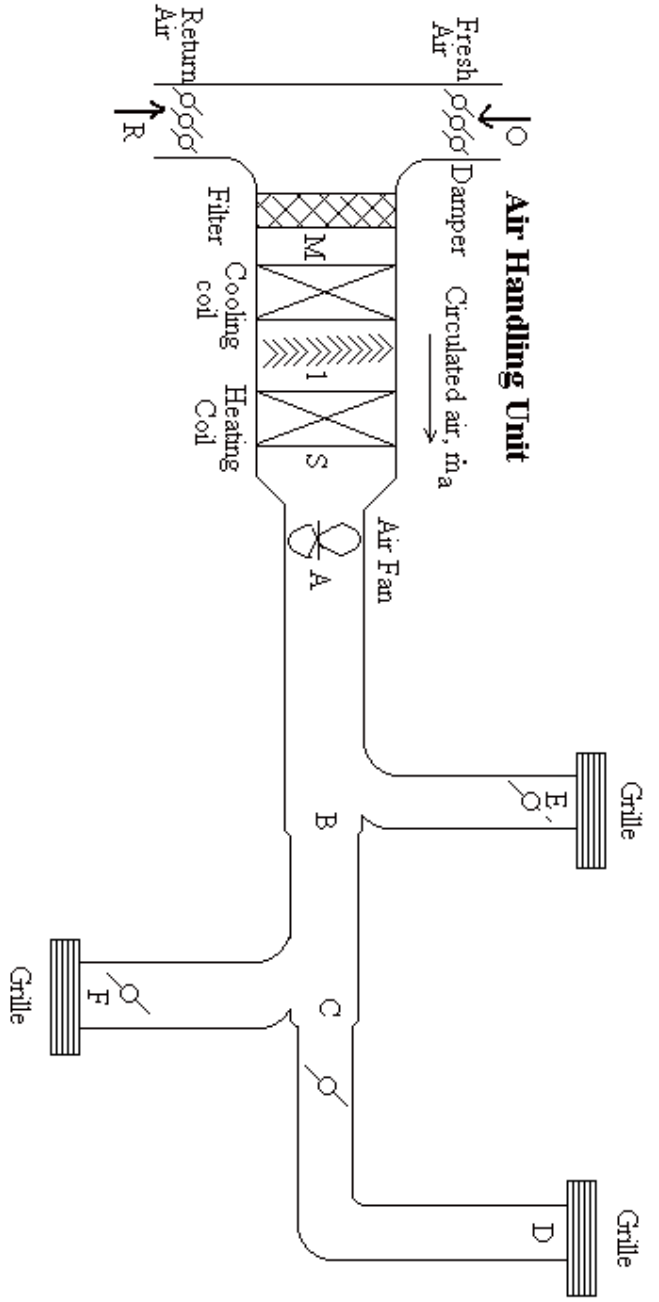
قدرة المروحة Fan Power

ولحساب قدرة المروحة فى نظام نقل وتوزيع الهواء يجب أن نعيد تخطيط النظام ونحدد مكان وشكل وحدة مناولة الهواء بجميع أجزائها وتفصيلاتها وكذلك الوصلات الفعلية لتوصيل المجرى الرئيسى بوحدة مناولة الهواء وكذلك المجارى الفرعية ومخارج الهواء إلى الغرف وخوانق الهواء للتحكم فى معدل السريان، وتصبح معادلة الطاقة المطورة والتى يمكن تطبيقها لحساب قدرة المروحة كما يلى:

$$\text{Power} = -W = \dot{m}\left[\sum\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{Air\ \text{Handling}} + \sum f\frac{L}{d}\frac{V^2}{2} + \sum K\frac{V^2}{2} + \frac{V_e^2}{2}\right]$$

$$= \dot{m}\left[\sum\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{Air\ \text{Handling}} + \sum\left(\frac{1}{\rho}\frac{\Delta P}{L}\times L\right)_{Friction} + \sum\left(K\frac{V^2}{2}\right)_{Fitting} + \left(\frac{V_e^2}{2}\right)_{Exit}\right]$$

Reshaping the duct system with air handling unit



مثال ٤-٢

فى المثال السابق لنظام نقل وتوزيع الهواء، أحسب قدرة المروحة.

بعد إعادة تخطيط النظام بكل التفاصيل والتوصيلات نطبق معادلة الطاقة على نظام نقل وتوزيع الهواء على كل مكونات النظام.

$$\text{Power} = -W = \dot{m}\left[\sum\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{Air\ \text{Handling}} + \sum f\frac{L}{d}\frac{V^2}{2} + \sum K\frac{V^2}{2} + \frac{V_e^2}{2}\right]$$

$$= \dot{m}\left[\sum\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{Air\ \text{Handling}} + \sum\left(\frac{1}{\rho}\frac{\Delta P}{L}\times L\right)_{Friction} + \sum\left(K\frac{V^2}{2}\right)_{Fitting} + \left(\frac{V_e^2}{2}\right)_{Exit}\right]$$

$$= \rho\dot{V}\left[\sum\left(\frac{\Delta P}{\rho}\right)_{Air\ \text{Handling}} + \sum\left(\frac{1}{\rho}\frac{\Delta P}{L}\times L\right)_{Friction} + \sum\left(K\frac{V^2}{2}\right)_{Fitting} + \left(\frac{V_e^2}{2}\right)_{Exit}\right]$$

$$\text{Power} = 1.184\times 8\left[\left(\frac{50+100+150+50+150+50}{1.184}\right)_{Air\ Handling} + \left(\frac{30\times 0.487}{1.184} + 0.3\times\frac{8^2}{2}\right)_{A-B}\right]$$

$$+1.184\times 7\left(\frac{15\times 0.487}{1.184} + 0.05\frac{7.77^2}{2}\right)_{B-C}$$

$$+1.184\times 4\left(\frac{75\times 0.487}{1.184} + (0.05+0.75+0.5+1)\frac{6.75^2}{2}\right)_{C-D}$$

$$+1.184\times 1\left(\frac{30\times 0.487}{1.184} + (0.75+0.5+1)\frac{5.07^2}{2}\right)_{B-E}$$

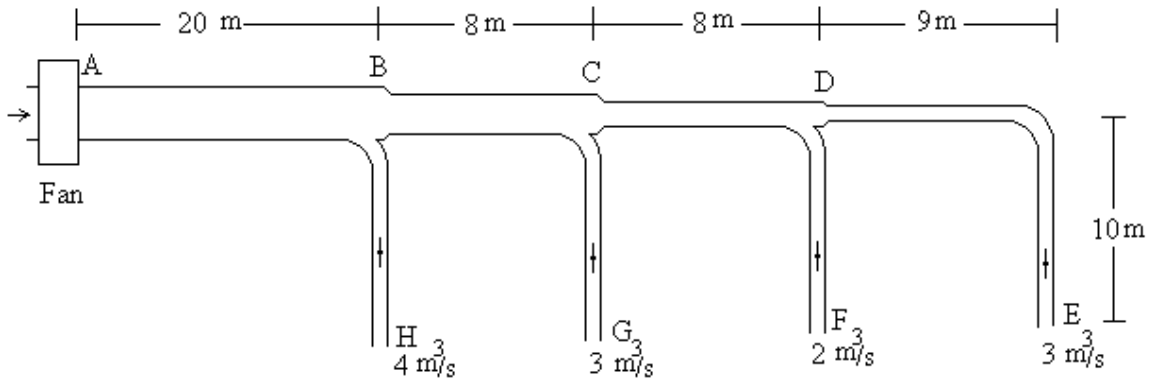
$$+1.184\times 3\left(\frac{15\times 0.487}{1.184} + (0.75+0.5+1)\frac{6.28^2}{2}\right)_{C-F}$$

$$\text{Power} = 4607.811 + 63.644 + 394.252 + 48.849 + 179.511 = 5294.07 \quad W$$

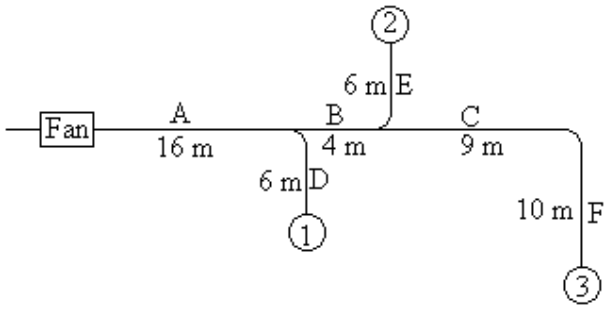
$$\text{Power} = 5.3 \quad kW$$

أسئلة على الباب الرابع

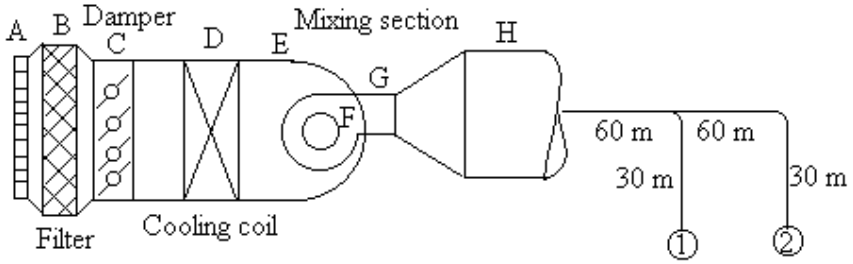
١- فى نظام نقل وتوزيع الهواء المبين والمصنوع من الصاج المجلفن والمستخدم فى تكييف كافتيريا، باستخدام طريقة تساوى الأحتكاك أحسب قطر المجرى الرئيسى والمجارى الفرعية، ثم حقق النتائج باستخدام خريطة الفقد فى الضغط ودون النتائج فى جدول واحسب قدرة المروحة المطلوبة.

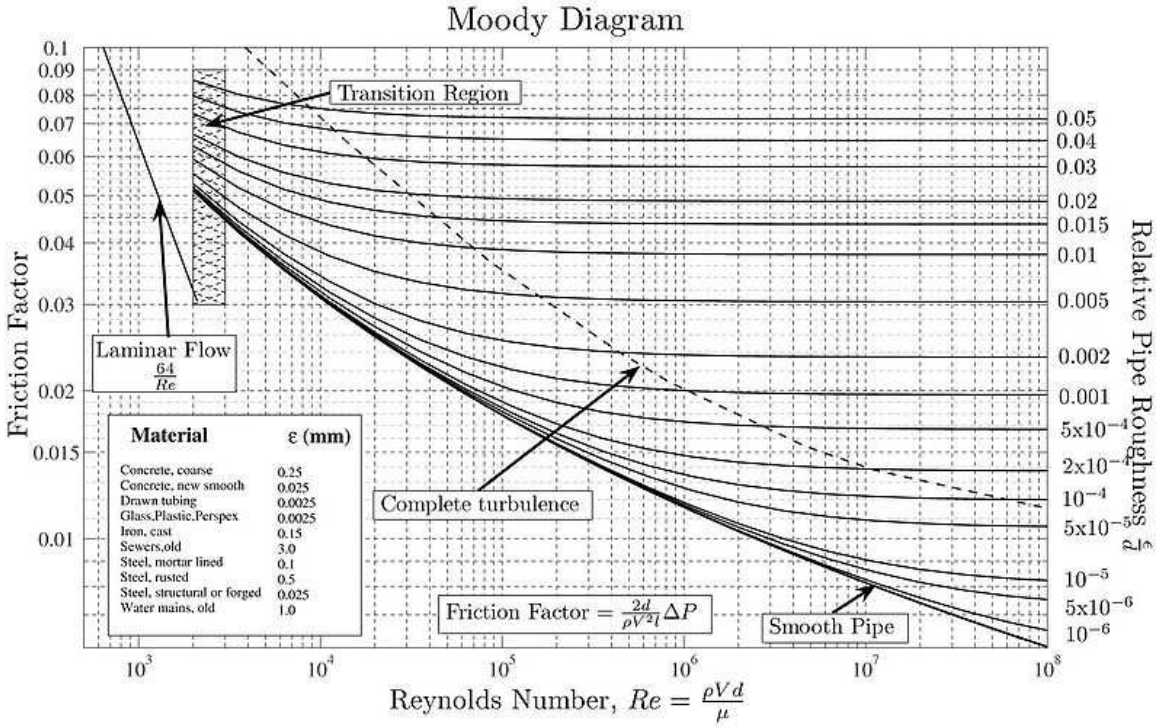


٢- فى نظام نقل وتوزيع الهواء المبين والمصنوع من الصاج المجلفن والمستخدم فى مسكن، باستخدام طريقة تناقص السرعة أحسب قطر المجرى الرئيسى والمجارى الفرعية، ثم دون النتائج فى جدول واحسب قدرة المروحة المطلوبة حيث كل مخرج يعطى $15\ m^3/min$ معدل تصرف.

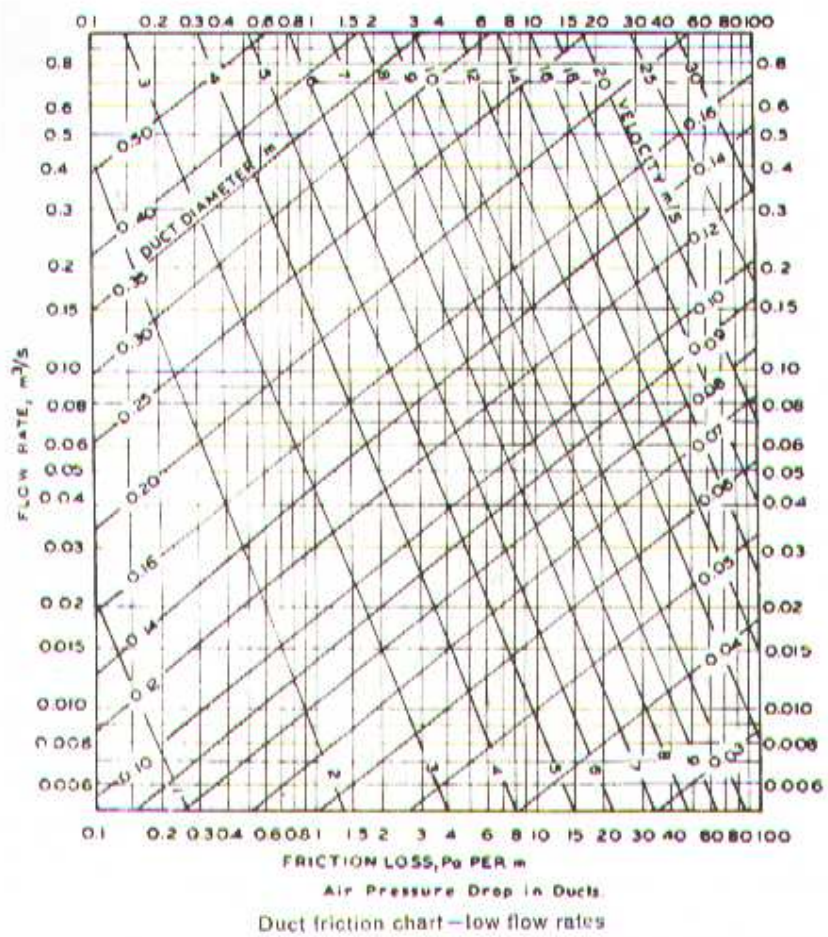


٣- فى نظام نقل وتوزيع الهواء المبين والمصنوع من الحديد المسبوك الأسفلتى والمستخدم فى تكييف محل تجارى، باستخدام طريقة تساوى الأحتكاك أحسب قطر المجرى الرئيسى والمجارى الفرعية، ثم حقق النتائج باستخدام خريطة الفقد فى الضغط ودون النتائج فى جدول واحسب قدرة المروحة المطلوبة مع العلم أن معدل التصرف هو $2\ m^3/s$ لكل مخرج.



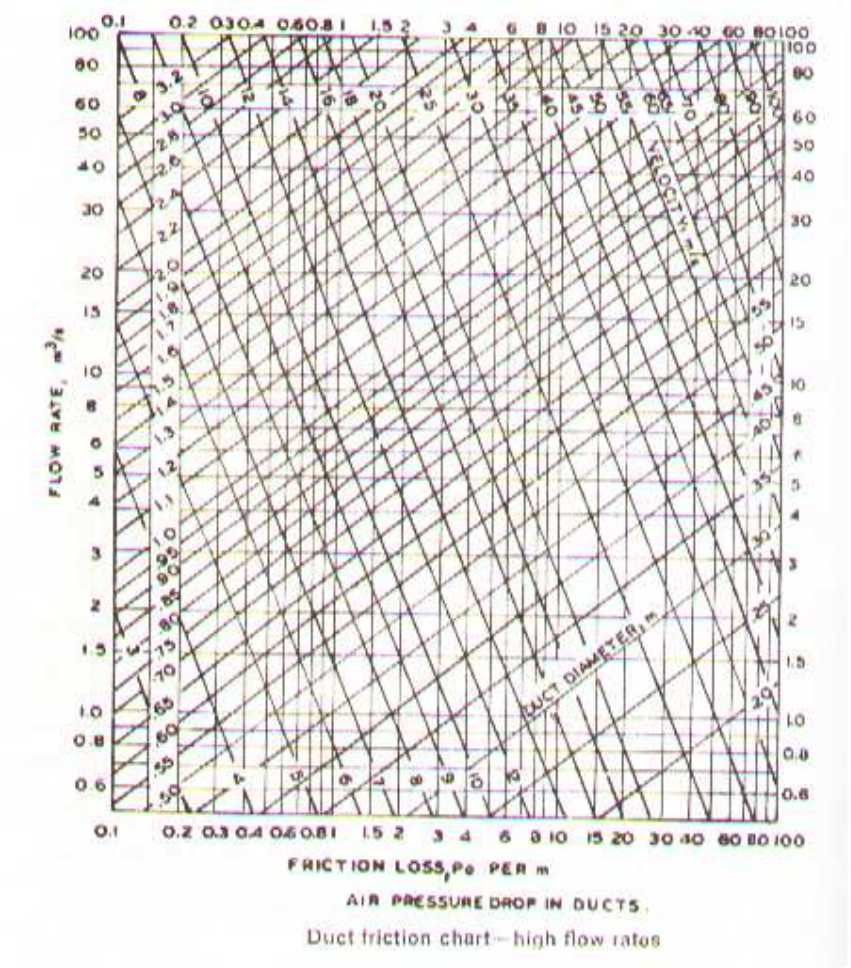

Moody Diagram
Friction Factor
Relative Pipe Roughness $\frac{\varepsilon}{d}$
Reynolds Number, $Re = \frac{\rho V d}{\mu}$
Transition Region
Laminar Flow
$\frac{64}{Re}$
Complete turbulence
Friction Factor = $\frac{2d}{\rho V^2 l}\Delta P$
Smooth Pipe
Material
ε (mm)
Concrete, coarse 0.25
Concrete, new smooth 0.025
Drawn tubing 0.0025
Glass,Plastic,Perspex 0.0025
Iron, cast 0.15
Sewers,old 3.0
Steel, mortar lined 0.1
Steel, rusted 0.5
Steel, structural or forged 0.025
Water mains, old 1.0

Moody Chart



Duct friction chart—low flow rates

Duct Friction Chart-Low Flow Rate



Duct Friction Chart-High Flow Rate