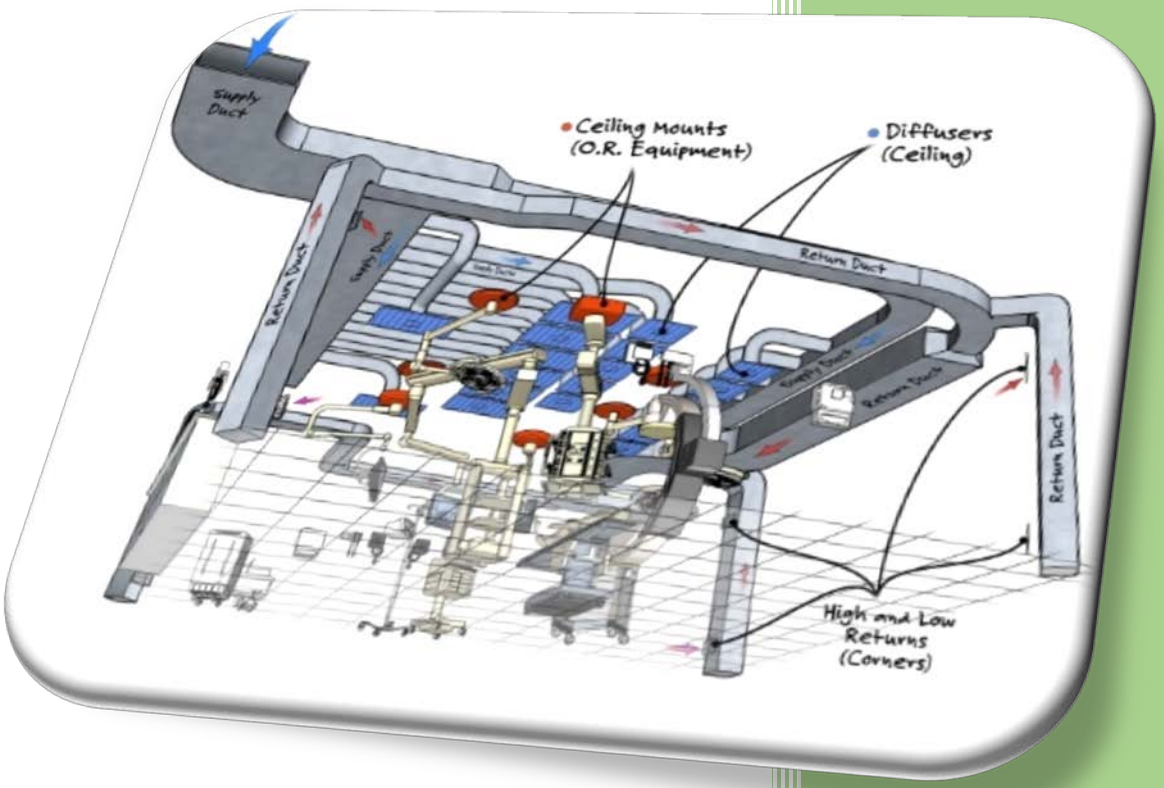
أكاديمية التكييف
HVAC Academy

أنظمة توزيع الهواء



م. أسامة عاطف خياطة

Follow me on WizIQ

E 1.0-15

المحتويـــــــات

الفصل الأول: مجرى الهواء المعدني	3
الفصل الثاني: المجرى المرن	15
الفصل الثالث: مجرى الهواء مسبق العزل	21
الفصل الرابع: مجرى الهواء القماشي	22
الفصل الخامس: تسريب مجرى الهواء	24
الفصل السادس: الكسب والضياع الحراري لمجرى الهواء	30
الفصل السابع: العزل الحراري	34
الفصل الثامن: العزل الصوتي الداخلي	36
الفصل التاسع: فتحات الهواء	38
الفصل العاشر: معايير تصميم الهواء	60
الفصل الحادي عشر: طرق تصميم مجاري الهواء	61
الفصل الثاني عشر: هبوط الضغط في مجاري الهواء	62
الفصل الثالث عشر: برنامج Ductmate	74
الفصل الرابع عشر: حساب هبوط الضغط	76
الفصل الخامس عشر: برنامج ASHRAE duct fittings database	78
الفصل السادس عشر: مثال محلول بالطريقة اليدوية لتصميم دكتات الهواء	79
الفصل السابع عشر: هود المطبخ Kitchen Hood	84
الفصل الثامن عشر: نظافة مجرى الهواء	99
الفصل التاسع عشر: مخمد الهواء متغير السعة VAV Box	100
ملحق	102
مراجع الكتاب	104

مقدمة:

تستخدم مجاري الهواء لنقل الهواء من جهاز التكييف إلى الحيز المراد تكييفه أو من الحيز إلى مروحة الطرد في حال التهوية.

1. مجرى الهواء المعدني Metal sheet:

وهو النوع الأكثر شيوعاً, ويتميز بالمتانة ومقاومة الصدأ ومقاومة الحريق, ويمكن تصنيعه بعدة أشكال كالدائري والمستطيل والبيضوي وبعدة أحجام تبدأ من 4x4 in (10x10 cm). وعادة ما يتم تصنيع المقطع الواحد بطول أعظمي 4 ft (1.2 m). ومادة المجرى تكون من الحديد المجلفن Galvanized iron (GI) أو من الستانلس Stainless steel الذي يستخدم في بعض التطبيقات الخاصة أو ممكن أن تكون من الألمنيوم الذي يستخدم غالباً كتغليف Aluminum cladding للمجاري الخارجية لحماية العازل من العوامل الخارجية.

الشكل 1.1 مجرى الهواء المعدني

يتم عزل المجرى حرارياً من الخارج باستخدام الصوف الزجاجي أو الفايبرجلاس أو العازل المطاطي, كما يتم أحياناً عزله من الداخل بعازل صوتي من الفايبرجلاس.

1.1. تصنيف الضغط Pressure classification:

يصنف مجرى الهواء وفقاً لقيمة الضغط الستاتيكي الأعظمي المتوقع الوصول إليه داخل المجرى, وبناءاً على هذا التصنيف يتم تصنيع المجرى وفق مواصفات معينة.

الجدول 1.1 يبين تصنيف الضغط[1]:

Duct Pressure Class		Operating Pressure
(in.)	(Pa)	
½" wg	125	Up to ½" wg
1" wg	250	Over ½" up to 1" wg
2" wg	500	Over 1" up to 2" wg
3" wg	750	Over 2" up to 3" wg
4" wg	1000	Over 3" up to 4" wg
6" wg	1500	Over 4" up to 6" wg
10" wg	2500	Over 6" up to 10" wg

الجدول 1.1 تصنيف الضغط

2.1. مقاس المجرى Duct Gage:

يتم تصنيف المجاري حسب المقاس Gage وفق الجدول 2.1.أ الخاص بالفولاذ المغلفن والجدول 2.1.ب الخاص بالستانلس ستيل والجدول 2.1.ج الخاص بالألمنيوم[2].

يلاحظ أنه لكل جدول يوجد مقاس Gage يعبر عنه برقم, ولكل مقاس يوجد سماكة اسمية بالإضافة إلى سماكة صغرى وعظمى, كما أن الوزن لواحدة المساحة محدد لكل مقاس. ويلاحظ أنه كلما زاد رقم المقاس Gage كلما انخفضت سماكة اللوح وبالتالي انخفض وزن اللوح بالنسبة لواحدة المساحة.

[1] *SMACNA HVAC duct construction standard metal and flexible 3rd edition – chapter 1*
[2] *SMACNA HVAC duct construction standard metal and flexible 3rd edition – Appendix*

Gage	Thickness in Inches			Weight				Thickness in Millimeters		
	Min.	Max.	Nom.	Min lb/sf	Nom. lb/sf	Max. lb/sf	Nom. kg/m^2	Min.	Max.	Nom.
33	.0060	.0120	.0090	.2409	.376	.486		.1524	.3048	.2286
32	.0104	.0164	.0134	.4204	.563	.665		.2642	.4166	.3404
31	.0112	.0172	.0142	.4531	.594	.698		.2845	.4369	.3607
30	.0127	.0187	.0157	.5143	.656	.759	3.20	.3188	.4783	.3988
29	.0142	.020	.0172	.5755	.719	.820		.3569	.5169	.4369
28	.0157	.0217	.0187	.6367	.781	.881	3.81	.3950	.5550	.4750
27	.0172	.0232	.0202	.6979	.844	.943		.4331	.5931	.5131
26	.0187	.0247	.0217	.7591	.906	1.004	4.42	.4712	.6312	.5512
25	.0217	.0287	.0247	.8407		1.167		.5274	.7274	.6274
24	.0236	.0316	.0276	.9590	1.156	1.285	5.64	.6010	.8010	.7010
23	.0266	.0346	.0306	1.0814		1.408		6772	.8772	.7772
22	.0296	.0376	.0336	1.2038	1.406	1.530	6.86	.7534	.9534	.8534
21	.0326	.0406	.0336	1.3263		1.653		.8296	1.0296	.9296
20	.0356	.0436	.0396	1.4486	1.656	1.775	8.08	.906	1.106	1.006
19	.0406	.0506	.0456	1.6526		2.061		1.028	1.288	1.158
18	.0466	.0566	.0516	1.8974	2.156	2.305	10.52	1.181	1.441	1.311
17	.0525	.0625	.0575	2.1381		2.546		1.331	1.591	1.461
16	.0575	.0695	.0635	2.342	2.656	2.832	12.96	1.463	1.763	1.613
15	.0650	.0770	.0710	2.6481		3.138		1.653	1.953	1.803
14	.0705	.0865	.0785	2.8725	3.281	3.525	16.01	1.784	2.204	1.994
12	.0854	.1014	.0934	3.4804		4.133		2.162	2.5823	2.372
12	.0994	.1174	.1084	4.0516	4.531	4.786	22.11	2.523	2.983	2.753
11	.1143	.1323	.1233	4.6505		5.394		2.902	3.362	3.132
10	.1292	.1472	.1382	5.2675	5.781	6.002	28.21	3.280	3.740	3.510
9	.1442	.1622	.1532	5.8795		6.614		3.661	4.121	3.891
8	.1591	.1771	.1681	6.4874	6.875	7.222		4.040	4.500	4.270

الجدول 2.1.أ جدول مقاس الفولاذ المجلفن

Gage	Thickness in Inches				Weight				Thickness in Millimeters		
					lb/sf		Kg/m^2				
	Min.	Max.	Toler-ance	Nom.	300	400	300	400	Nom.	Min.	Max.
31	.0089	.0129	.002	.0109	.459	.451	2.239	2.200	.2769	.2269	.3269
30	.0105	0.145	.002	.0125	.525	.515	2.562	2.512	.3175	.2675	.3675
29	.0121	.0161	.002	.0141	.591	.579	2.883	2.825	.3581	.3081	.4081
28	.0136	.0176	.002	.0456	.656	.644	3.200	3.142	.3962	.3462	.4462
27	.0142	.0202	.003	.0172	.722	.708	3.522	3.454	.4369	.3569	.5169
26	.0158	.0218	.003	.0188	.788	.773	3.844	3.771	.4775	.3975	.5575
25	.0189	.0249	.003	.0219	.919	.901	4.483	4.395	.5562	.4762	.6362
24	.0220	.0280	.003	.0250	1.050	1.030	5.122	5.025	.6350	.5550	.7150
23	.0241	.0321	.004	.0281	1.181	1.159	5.761	5.654	.7137	.6137	.8137
22	.0273	.0353	.004	.0313	1.313	1.288	6.405	6.283	.7950	.6950	.8950
21	.0304	.0384	.004	.0344	1.444	1.416	7.044	6.908	.8738	.7738	.9738
20	.0335	.0415	.004	.0375	1.575	1.545	7.683	7.537	.9525	.8525	1.0525
19	.0388	.0488	.005	.0438	1.838	1.803	8.966	8.796	1.1125	.9835	1.2425
18	.0450	.0550	.005	.0500	2.100	2.060	10.245	10.050	1.2700	1.1400	1.4000
17	.0513	.0613	.005	.0563	2.363	2.318	11.528	11.308	1.4300	1.300	1.5600
16	.0565	.0685	.006	.0625	2.625	2.575	12.806	12.562	1.5875	1.4375	1.7375
15	.0643	.0763	.006	.0703	2.953	2.897	14.406	14.133	1.7856	1.6356	1.9356
14	.0711	.0851	.007	.0781	3.281	3.219	16.006	15.704	1.9837	1.8037	2.1637
13	.0858	.1018	.008	.0938	3.938	3.863	19.211	18.845	2.3825	2.1825	2.5825
12	.1000	.1184	.009	.1094	4.594	4.506	22.411	21.982	2.7788	2.5488	2.9788
11	.1150	.1350	.010	.1250	5.250	5.150	25.612	25.124	3.1750	2.9250	3.4250
10	.1286	.1526	.012	.1406	5.906	5.794	28.812	28.265	3.5712	3.2712	3.8712
9	.1423	.1703	.014	.1563	6.563	6.438	32.017	31.407	3.9700	3.6100	4.3300
8	.1579	.1859	.014	.1719	7.219	7.081	35.217	34.544	4.3663	4.0063	4.7263

الجدول 2.1.ب جدول مقاس الستانلس ستيل

Thickness in Inches				Weight		Thickness in Millimeters		
Nom.	Tolerance 48" & (60) Width	Min.	Max.	lb/ft²	Kg/m²	Nom.	Min.	Max.
.016	.0015	.0145	.0175	.228	1.114	.4068	.3683	.4445
.020	.002 (.003)	.018	.022	.285	1.393	.508	.4572	.5588
.024	.002 (.003)	.022	.026	.342	1.671	.6096	.5588	.6604
.025	.002 (.003)	.023	.027	.356	1.7398	.635	.5842	.6858
.032	.0025 (.0035)	.0295	.0345	.456	2.228	.8128	.7493	.8763
.040	.0035 (.0045)	.0365	.0435	.570	2.786	1.016	.9271	1.1049
.050	.0035 (.0045)	.465	.0535	.713	3.484	1.27	1.1811	1.3589
.063	.0035 (.005)	.0595	.665	.898	4.389	1.600	1.5113	1.6891
.080	.0045 (.006)	.0755	.0845	1.140	5.571	2.032	1.9117	2.1463
.090	.0045 (.006)	.0855	.0945	1.283	6.270	2.286	2.1717	2.4003
.100	.0055 (.007)	.0945	.1055	1.426	6.969	2.54	2.4003	2.6797
.125	.0055 (.007)	.1195	.1305	1.782	8.709	3.175	3.0353	3.3147

الجدول 2.1.ج جدول مقاس الألمنيوم

ويتم اختيار مقاس المجرى بناءاً على البعد الأكبر لمقطع المجرى (عرض أو ارتفاع)وتصنيف الضغط المتوقع ضمن المجرى.

الجدول 3.1 يبين مقاس المجرى المستطيل Gage المطلوب حسب البعد الأكبر للمجرى, و الجدول 4.1 يبين مقاس المجرى الدائري Gage المطلوب حسب القطر.

DUCT DIMENSION	PRESSURE CLASS (In W.G.)						
	Positive or Negative						
	½"	1"	2"	3"	4"	6"	10"
8" dn	26	26	26	24	24	24	22
9, 10"	26	26	26	24	22	20	18
11, 12"	26	26	24	22	20	18	16
13, 14"	26	24	22	20	18	18	
15, 16"	26	22	20	18	18	16	
17, 18"	26	22	20	18	16		
19, 20"	24	20	18	16			
21, 22"	22	18	16	16			
23, 24"	22	18	16	16			
25, 26"	20	18					
27, 28"	18	16					
29, 30"	18	16					
31–36"	16						

Reinforcement is Required

DUCT DIMENSION	PRESSURE CLASS (Pa)						
	Positive or Negative						
	125	250	500	700	1000	1500	2500
200	0.55	0.55	0.55	0.70	0.70	0.70	0.85
201,250	0.55	0.55	0.55	0.70	0.85	1.00	1.31
251,300	0.55	0.55	0.70	0.85	1.00	1.31	1.61
301,350	0.55	0.70	0.85	1.00	1.31	1.31	
351,400	0.55	0.85	1.00	1.31	1.31	1.61	
401,450	0.55	0.85	1.00	1.31	1.61		
451,500	0.70	1.00	1.31	1.61			
501,550	0.85	1.31	1.61	1.61			
551,600	0.85	1.31	1.61	1.61			
601,650	1.00	1.31					
651,700	1.31	1.61					
701,750	1.31	1.61					
751 to 900	1.61						

Reinforcement is Required

الجدول 3.1 مقاس المجرى المستطيل

MAX. DIA.	+2" w.g.		+4" w.g.		+10" w.g.	
	Spiral Seam	Long. Seam	Spiral Seam	Long. Seam	Spiral Seam	Long. Seam
6"	28	28	28	28	28	28
8"	28	28	28	28	28	26
10"	28	26	28	26	28	26
12"	28	26	28	26	26	24
14"	28	26	26	24	26	24
16"	26	24	26	24	24	22
18"	26	24	24	24	24	22
19-26"	26	24	24	22	24	22
27-36"	24	22	22	20	22	20
37-50"	22	20	20	20	20	20
51-50"	20	18	18	18	18	18
61-84"	18	16	18	16	18	16

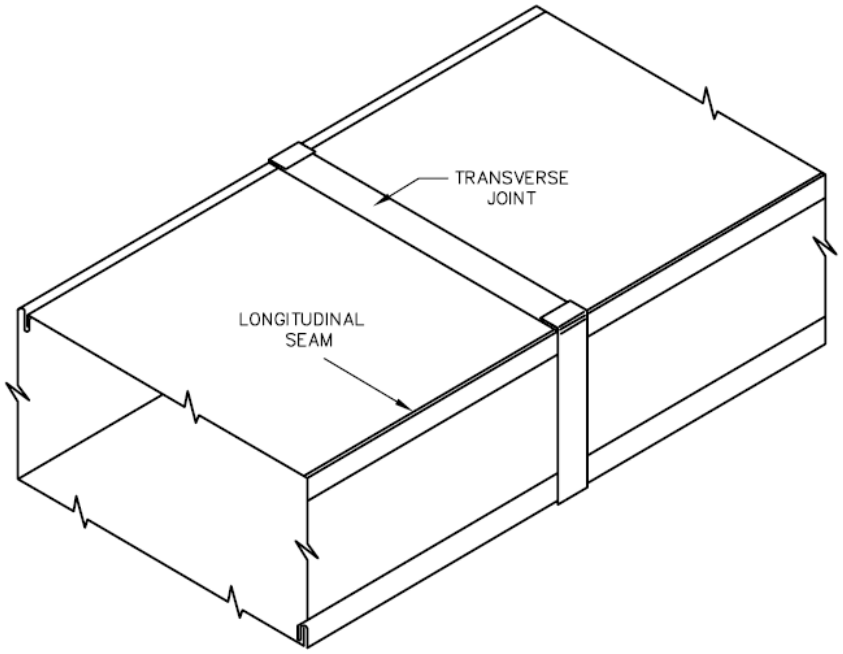
MAX. DIA. (mm)	+500 Pa.		+1000 Pa.		+2500 Pa	
	Spiral Seam	Long. Seam	Spiral Seam	Long. Seam	Spiral Seam	Long. Seam
150	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
200	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.55
250	0.48	0.55	0.48	0.55	0.48	0.55
300	0.48	0.55	0.48	0.55	0.55	0.70
360	0.48	0.55	0.55	0.70	0.55	0.70
400	0.55	0.70	0.55	0.70	0.70	0.85
460	0.55	0.70	0.70	0.70	0.70	0.85
660	0.55	0.70	0.70	0.85	0.70	0.85
910	0.70	0.85	0.85	1.00	0.85	1.00
1270	0.85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1520	1.00	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31
2130	1.31	1.61	1.31	1.61	1.31	1.61

الجدول 4.1 مقاس المجرى الدائري

3.1. طرق وصل المجاري:

يتم وصل مجاري الهواء المستطيلة مع بعضها البعض بعدة طرق, ويمكن تصنيف وصلات المجاري إلى:

1- وصلات عرضانية Transverse Seams: وهي الوصلات التي تصل بين مجرى وآخر وتشكل مستوي عمودي على اتجاه جريان الهواء ولها عدة طرق للوصل.
2- وصلات طولانية Longitudinal Joints: وهي الوصلة التي تربط طرفي المجرى بعد تشكيلها على شكل مستطيل.



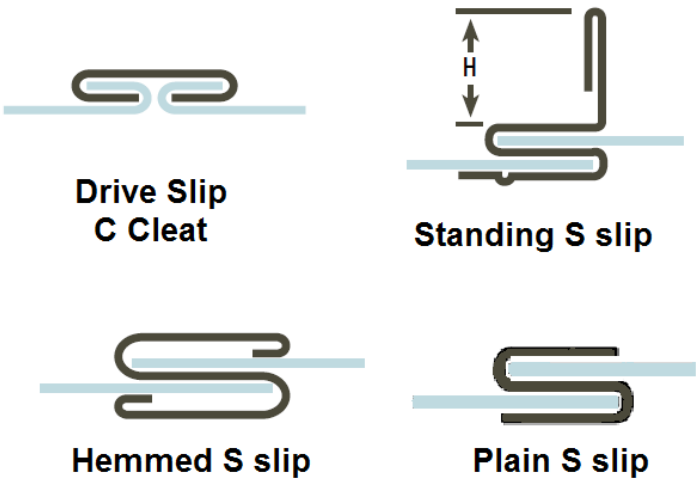
الشكل 2.1 الوصلات العرضانية والطولانية

1.3.1 الوصلات العرضانية:

يوجد عدة طرق لربط مجاري الهواء مع بعضها البعض أهمها هو التالي:

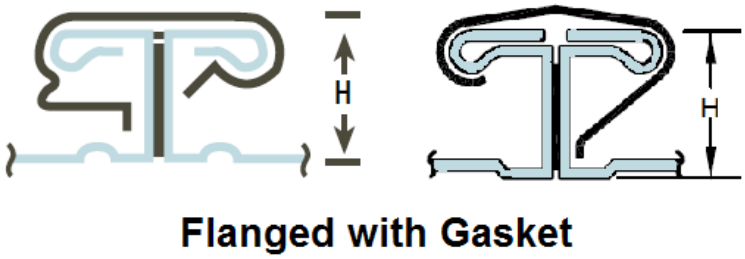
1- طريقة التدكيك Drive Slip: حيث تستخدم مرابط من مادة GI sheet على شكل حرف C تدعى C cleats وتكون على جانبي المجرى, بالإضافة إلى مرابط على شكل حرف S وتدعى S slip وتكون على الجانبين الآخرين وهي على أشكال: إما Plain S slip أو Hemmed S slip أو Standing S skip كما هو موضح في الشكلين 3.1 و 4.1
2- طريقة الفلانج Flange: حيث يتم ربط المجاري مع بعضها البعض باستخدام الفلانج بعد تركيب مانع تسرب Gasket بين الفلانجات ومن ثم يتم شد براغي في الأطراف الأربعة للفلانج بعد تقوية

هذه الأطراف بزوايا معدنية, ومن ثم يتم إحكام الفلانجات بتركيب أقفال على طول نقطة التقاء الفلانج يدعى C lock وذلك كما هو موضح في الشكلين 5.1 و 6.1

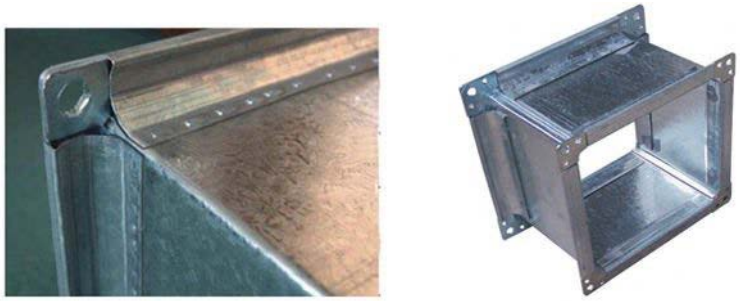


الشكل 3.1 مرابط C و S

الشكل 4.1 مرابط C و S



الشكل 5.1 فلانج



الشكل 6.1 فلانج

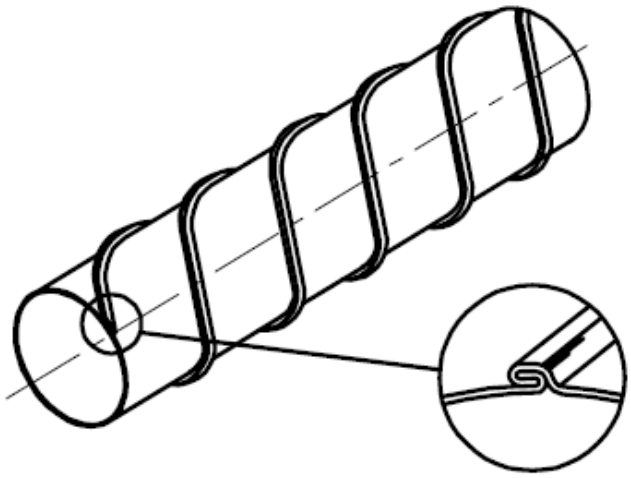
2.3.1 الوصلات الطولانية:

يوجد عدة طرق لوصل مجاري الهواء بشكل طولاني لكن أشهرها طريقة Pittsburgh lock كما هو موضح في الشكل 7.1

Pittsburgh lock

الشكل 7.1 وصلة بيتسبيرغ

أما بالنسبة للمجاري المعدنية الدائرية فيستخدم عادة وصلة Spiral كما هو موضح في الشكل 8.1

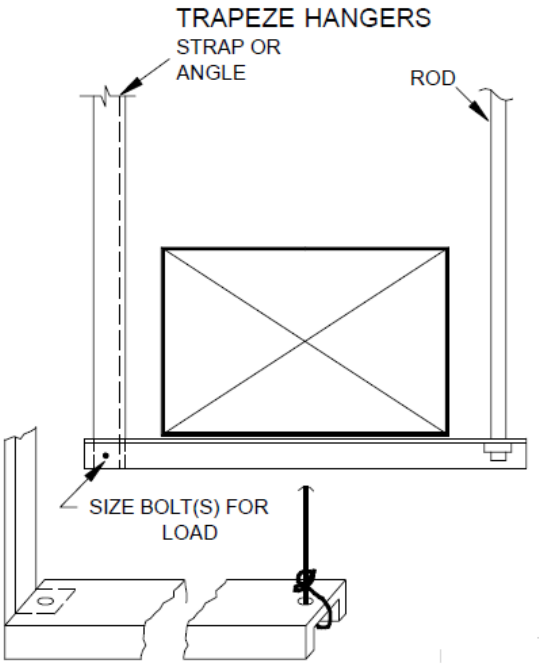


Spiral Seam

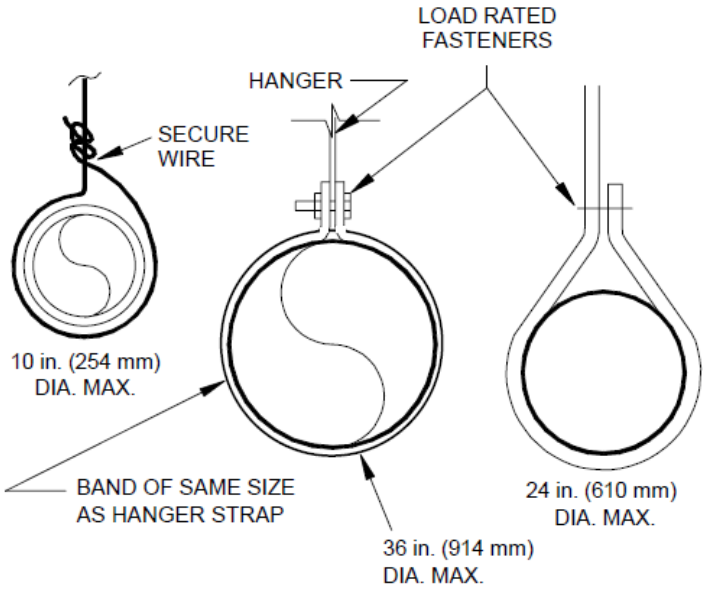
الشكل 8.1

4.1. دعامات التعليق Hangers:

يتم تعليق مجرى الهواء على دعامات تكون على شكل Trapeze للمجاري المستطيلة كما هو موضح في الشكل 9.1 أو باستخدام الأسلاك بالنسبة للمجاري الدائرية كما هو موضح في الشكل 10.1

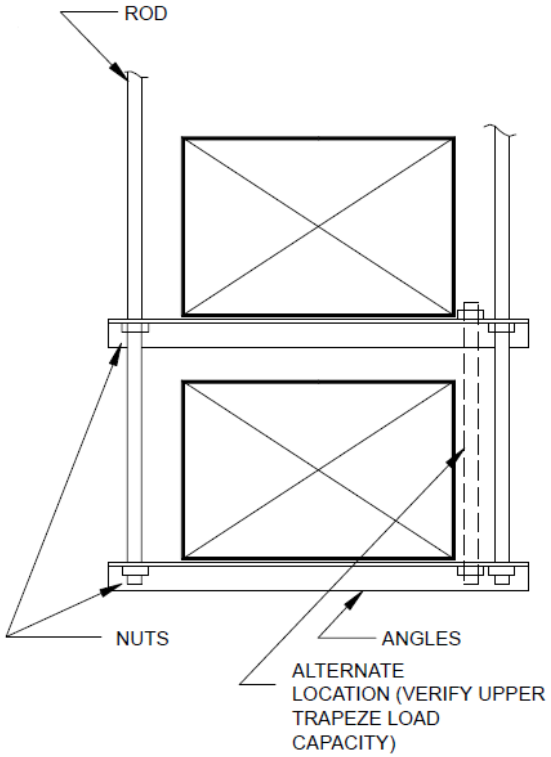


الشكل 9.1 دعامة التعليق للمجرى المستطيل



الشكل 10.1 أسلاك التعليق للمجرى الدائري

وفي حال تعليق أكثر من مجرى مستطيل فوق بعضهم البعض فيتم التعليق كما هو موضح في الشكل 11.1



الشكل 11.1 دعامة التعليق لمجاري مستطيلة متوضعة فوق بعضها

أما المسافة الأعظمية الفاصلة بين الدعامات فيحددها الجدول 5.1 بالنسبة للمجاري المستطيلة والجدول 6.1 النسبة للمجاري الدائرية[1].

[1] *SMACNA HVAC duct construction standard metal and flexible 3rd edition*

MAXIMUM HALF OF DUCT PERIMETER	Pair at 10 ft Spacing		Pair at 8 ft Spacing		Pair at 5 ft Spacing		Pair at 4ft Spacing	
	STRAP	WIRE/ ROD	STRAP	WIRE/ ROD	STRAP	WIRE/ ROD	STRAP	WIRE/ ROD
P/2 = 30"	1" x 22 ga.	10 ga. (.135")	1" x 22 ga.	10 ga. (.135")	1" x 22 ga.	12 ga. (.106")	1" x 22 ga.	12 ga. (.106")
P/2 = 72"	1" x 18 ga.	⅜"	1" x 20 ga.	¼"	1" x 22 ga.	¼"	1" x 22 ga.	¼"
P/2 = 96"	1" x 16 ga.	⅜"	1" x 18 ga.	⅜"	1" x 20 ga.	⅜"	1" x 22 ga.	¼"
P/2 = 120"	1 ½" x 16 ga.	½"	1" x 16 ga.	⅜"	1" x 18 ga.	⅜"	1" x 20 ga.	¼"
P/2 = 168"	1 ½" x 16 ga.	½"	1 ½" x 16 ga.	½"	1" x 16 ga.	⅜"	1" x 18 ga.	⅜"
P/2 = 192"	Not Given	½"	1 ½ " x 16 ga.	½"	1" x 16 ga.	⅜"	1" x 16 ga.	⅜"
P/2 = 193" up	SPECIAL ANALYSIS REQUIRED							

WHEN STRAPS ARE LAP JOINED USE THESE MINIMUM FASTENERS:	SINGLE HANGER MAXIMUM ALLOWABLE LOAD	
	STRAP	WIRE OR ROD (Dia.)
1" x 18, 20, 22 ga. -two #10 or one ¼" bolt 1" x 16 ga. -two ¼" dia. 1 ½" x 16 ga. -two ⅜" dia Place fasteners in series, not side by side.	1" x 22 ga. - 260 lbs. 1" x 20 ga. - 320 lbs. 1" x 18 ga. - 420 lbs. 1" x 16 ga. - 700 lbs. 1 ½" x 16 ga. - 1100 lbs.	0.106" - 80 lbs. 0.135" - 120 lbs. 0.162" - 160 lbs. ¼" - 270 lbs. ⅜" - 680 lbs. ½" - 1250 lbs. ⅝" - 2000 lbs. ¾" - 3000 lbs.

MAXIMUM HALF OF DUCT PERIMETER	Pair at 3 m Spacing		Pair at 2.4 m Spacing		Pair at 1.5 m Spacing		Pair at 1.2 m Spacing	
	STRAP	WIRE/ ROD	STRAP	WIRE/ ROD	STRAP	WIRE/ ROD	STRAP	WIRE/ ROD
P/2 = 760	25.4 x 0.85	3.4	25.4 x 0.85	3.4	25.4 x 0.85	2.7	25.4 x 0.85	2.7
P/2 = 1830	25.4 x 1.31	9.5	25.4 x 1.00	6.4	25.4 x 0.85	6.4	25.4 x 0.85	6.4
P/2 = 2440	25.4 x 1.61	9.5	25.4 x 1.31	9.5	25.4 x 1.00	9.5	25.4 x 0.85	6.4
P/2 = 3050	38.1 x 1.61	12.7	25.4 x 1.61	9.5	25.4 x 1.31	9.5	25.4 x 1.00	6.4
P/2 = 4270	38.1 x 1.61	12.7	38.1 x 1.61	12.7	25.4 x 1.61	9.5	25.4 x 1.31	9.5
P/2 = 4880	Not Given	12.7	38.1 x 1.61	12.7	25.4 x 1.61	9.5	25.4 x 1.61	9.5
P/2 = More	SPECIAL ANALYSIS REQUIRED							

WHEN STRAPS ARE LAP JOINED USE THESE MINIMUM FASTENERS:	SINGLE HANGER MAXIMUM ALLOWABLE LOAD	
	STRAP	WIRE OR ROD (Dia.)
25.4 x 1.31, 1.00, 0.85 mm - one 6.4 bolt 25.4 x 1.61 mm - two 6.4 bolts 38.1 x 1.61 mm - two 9.5 bolts Two bolts must be in series, not side by side	25.4 x 0.85 - 118 Kg 25.4 x 1.00 - 145 Kg 25.4 x 1.31 - 191 Kg 25.4 x 1.61 - 318 Kg 38.1 x 1.61 - 500 Kg	2.7 - 36 Kg 3.4 - 54 Kg 4.1 - 73 Kg 6.4 - 122 Kg 9.5 - 308 Kg 12.7 - 567 Kg 15.9 - 907 Kg 19.1 - 1360 Kg

الجدول 5.1 المسافة الفاصلة بين الدعامات للمجاري المستطيلة

Dia.	Maximum Spacing	Wire Dia.	Rod	Strap
10" dn 250 mm dn	12′ 3.7 m	One 12 ga. One 2.75 mm	¼" 6.4 mm	1" x 22 ga. 25.4 x 0.85 mm
11-18"	12′	Two 12 ga. or One 8 ga.	¼"	1" x 22 ga.
460 mm	3.7 m	One 4.27 mm	6.4 mm	25.4 x 0.85 mm
19-24" 610 mm	12′ 3.7 m	Two 10 ga. Two 3.51 mm	¼" 6.4 mm	1" x 22 ga. 25.4 x 0.85 mm
25-36" 900 mm	12′ 3.7 m	Two 8 ga. Two 2.7 mm	⅜" 9.5 mm	1" x 20 ga. 25.4 x 1.00 mm
37-50" 1270 mm	12′ 3.7 m	→	Two ⅜" Two 9.5 mm	Two 1" x 20 ga. (2) 25.4 x 1.00 mm
51-60" 1520 mm	12′ 3.7 m	→	Two ⅜" Two 9.5 mm	Two 1" x 18 ga. (2) 25.4 x 1.31 mm
61-84 2130 mm	12′ 3.7 m	→	Two ⅜" Two 9.5 mm	Two 1" x 16 ga. (2) 25.4 x 1.61 mm

الجدول 6.1 المسافة الفاصلة بين الدعامات للمجاري الدائرية

2. المجرى المرن Flexible Duct:

عبارة عن مجرى دائري يستخدم لوصل المجاري الصلبة Rigid ducts مع مخارج الهواء أو مع الهود Hood أو في أي مكان نحتاج فيه للمناورة بالمجرى حيث يتعذر استخدام المجرى الصلب. يتراوح قطره عادة بين 4" – 18", ونتيجة خشونة سطحه الداخلي فإنه يستهلك قدراً أكبر من الضغط بالمقارنة مع باقي أنواع المجاري لذلك يفضل أن يتم تقليل طوله قدر الإمكان, ويجب ألا يزيد طوله عن 14 ft (4.3 m)[1] في حال كان من نوع Air connector وهو عبارة عن مجرى مرن لم يتجاوز 3 اختبارات من UL-181, أما في حال تجاوز جميع الاختبارات السبعة عشر من UL-181 عندها يسمى Air duct ولا يوجد حد أعظمي لطوله.

يمكن أن يكون المجرى المرن معدني Metallic أو غير معدني Non-metallic مصنوع من البلاستيك المرن المدعم بالأسلاك المعدنية ويمكن أن يكون كل منهما معزول حرارياً أو غير معزول وذلك حسب التطبيق.

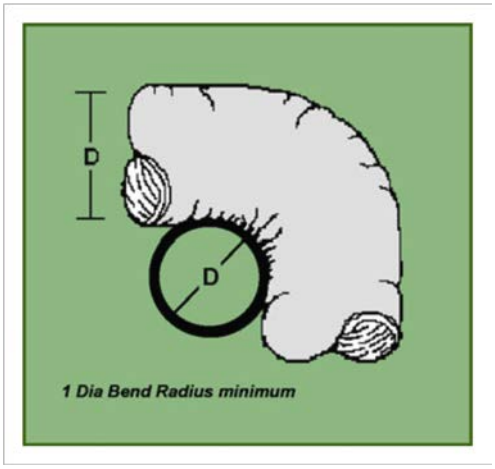
الشكل 1.2 يبين المجرى المرن المعدني المعزول وغير المعزول, والشكل 2.2 يبين المجرى المرن غير المعدني المعزول وغير المعزول.

1 ADC Flexible Duct Performance & Installation Standards 5th edition – Chapter 4

الشكل 1.2- المجرى المرن المعدني المعزول وغير المعزول

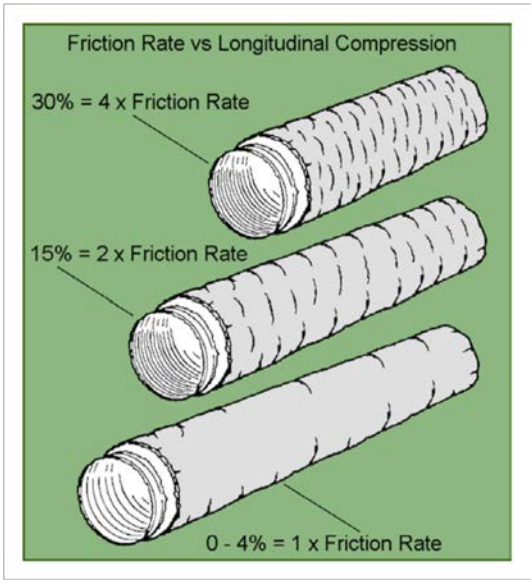
الشكل 2.2- المجرى المرن غير المعدني المعزول وغير المعزول

لا يجوز استخدام المجرى المرن بحيث يخترق الجدران التي يتم تركيب دامبر حريق ضمنها. وعند تركيب المجرى المرن يجب أن يتم تمديده بشكل كامل Fully extended لتقليل هبوط الضغط قدر الإمكان. ويجب عدم ثني المجرى بزاوية حادة بل يجب أن يكون قطر تقوس الثني يساوي أو أكبر من قطر المجرى نفسه كما هو موضح في الشكل 3.2

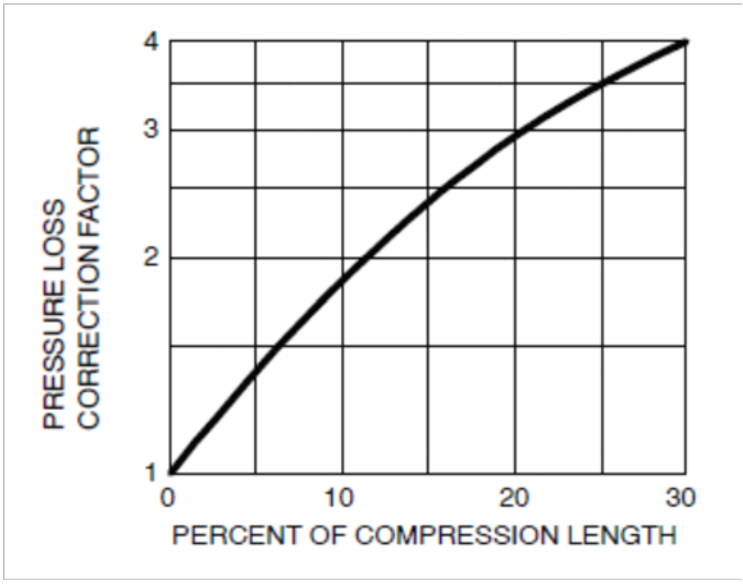


الشكل 3.2 قطر تقوس المجرى المرن

في حال انضغاط المجرى المرن يجب إدخال عامل تصحيح لمعدل هبوط الضغط المحسوب كما هو مبين في الشكل 4.2 , أو يمكن استخدام المخطط الموجود في الشكل 5.2[1]:



الشكل 4.2 عامل تصحيح انضغاط المجرى

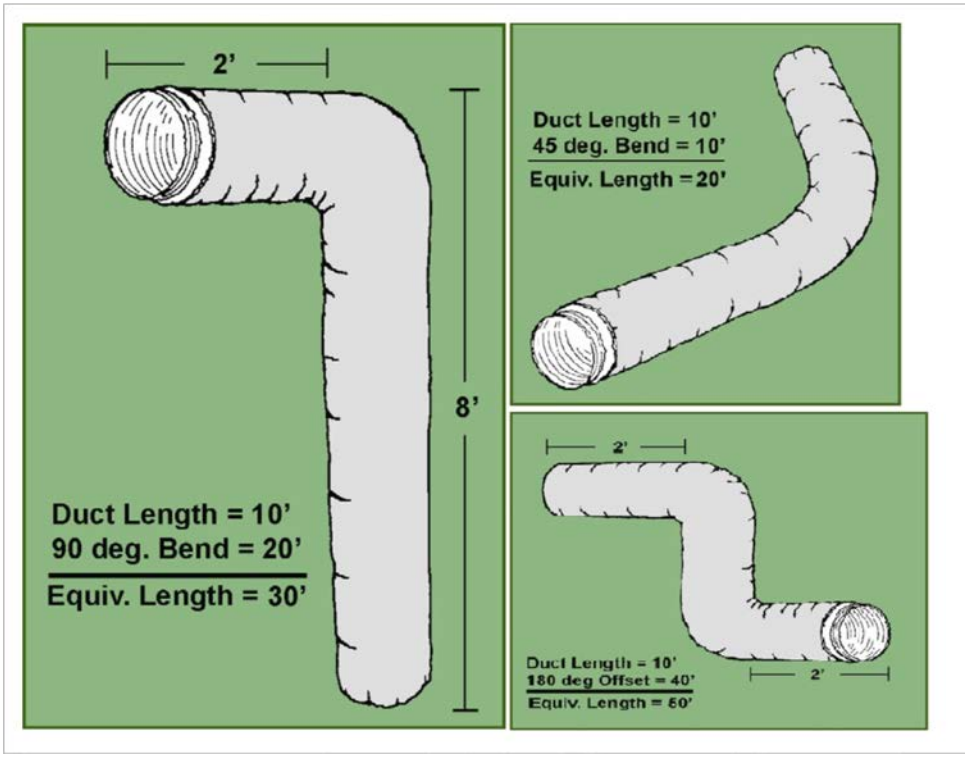


الشكل 5.2 عامل تصحيح انضغاط المجرى

في حال تعرض المجرى المرن لأكواع, فيجب تحويل قيمة هذه الأكواع إلى طول مكافئ من المجرى, بحيث الكوع °90 يعادل 20 ft (6 m) والكوع °180 يعادل 40 ft (12 m) كما هو موضح في الشكل 6.2[2]

ولحساب الطول المكافئ لأكواع المجرى المرن بدقة أكبر يمكن الاطلاع على الجدول 1.2[3] والذي يبين قيمة الطول المكافئ للكوع حسب نسبة R/D وحسب سرعة الهواء ضمن المجرى. وعند تعليق المجرى المرن لمسافات طويلة يجب ألا تزيد المسافة الفاصلة بين الدعامات عن 4 ft (1.2 m) ويجب ألا يزيد تدلي المجرى عن ½ inch/ft (42 mm/m)[4] كما هو موضح في الشكل 7.2, ويمكن أن تصل المسافة الفاصلة إلى 5 ft (1.5 m) وذلك حسب توصية المصنّع.

[1] *SMACNA HVAC Systems Duct Design 4th edition – Appendix*
[2] *ADC Flexible Duct Performance and Installation – chapter 4*
[3] *ADC Flexible Duct Performance and Installation – Appendix*
[4] *ADC Flexible Duct Performance and Installation – chapter 4*



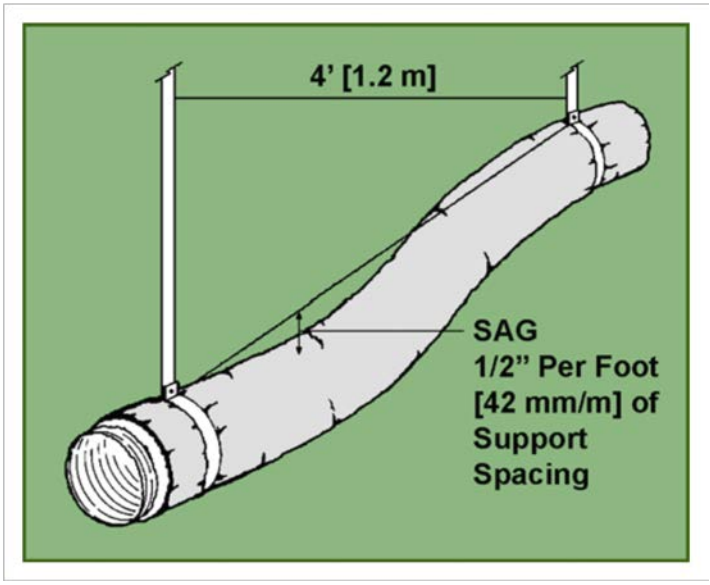
الشكل 6.2 الطول المكافئ لأكواع المجرى المرن

Equivalent Length Values					
Velocity in Flex Duct (Fpm)	Junction Box (Ft) Notes 1, 2 and 3	90° Bend (Ft) R / D Ratio (In / In) [4]			
		1.0	1.5	2 to 3	4 to 5
400	20	5	5	5	5
500	30	5	5	5	5
600	40	10	5	5	5
700	60	15	10	5	5
800	75	15	10	10	8
900	95	20	15	10	8

1) No anti-swirl regain diffuser at entrance.
- Swirl tends to feed one side of the box and starve the other side.
- Swirl may be induced by spiral wire geometry.
- Swirl attributes (such as direction) may change when the blower shuts down and restarts.

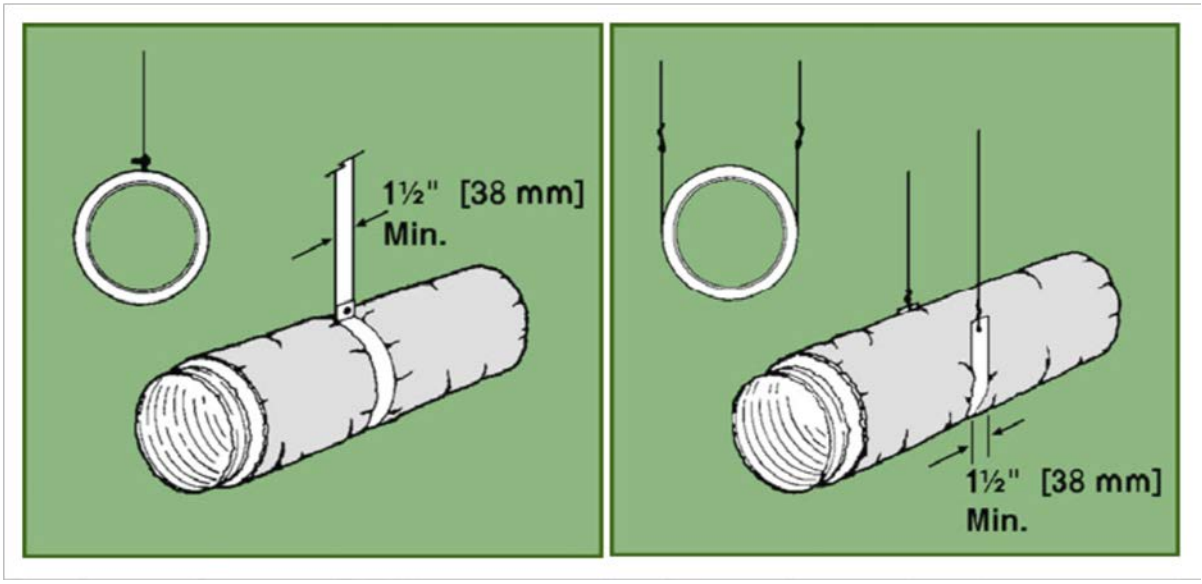
2) Straight-run approach and a straight-run departures (no turns in duct runs near the junction box).
3) Entrance and exits on side of box (no top or bottom openings).
4) Radius of turn divided by diameter of duct.

الجدول 1.2 الطول المكافئ لأكواع المجرى المرن



الشكل 7.2 التدلي المسموح به للمجرى المرن

عند تعليق المجرى المرن إلى السقف فيجب ألا يقل عرض شريط التعليق الحامل للمجرى عن 1½ in (38 mm) كما هو موضح في الشكل 8.2 وذلك لضمان عدم انضغاط المجرى.



الشكل 8.2 عرض شريط التعليق للمجرى المرن

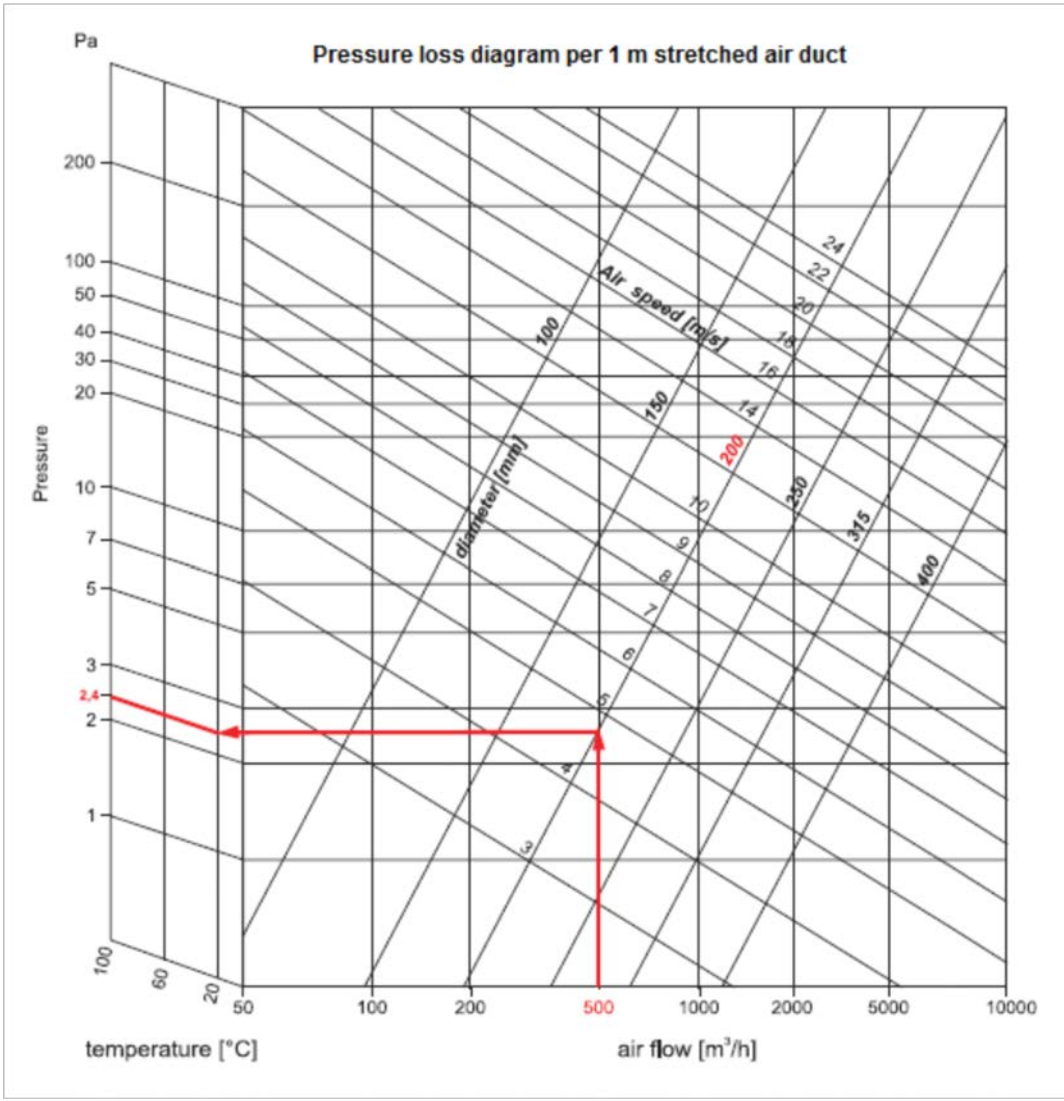
لتحديد قطر المجرى المرن المناسب يجب أن نحدد قيمة تدفق الهواء والسرعة المطلوبة ضمن المجرى. يفضل ألا تزيد السرعة في مجرى هواء الإرسال عن 600 fpm (3 m/s), وللراجع عن 400 fpm (2 m/s) وعلى أساس السرعة يمكن حساب القطر حسب كتالوج المصنّع, والشكل 9.2 يعطي مثالاً عن المخطط الذي ممكن اتباعه من الكتالوج لحساب قطر المجرى المرن ومعدل هبوط الضغط المتوقع.

مثال 1.2:

مجرى هواء مرن يمرر 500 m^3/h ويُسمح لسرعة الهواء أن تصل إلى 5 m/s فما هو القطر المناسب وكم سيكون هبوط الضغط للمتر الواحد ؟

من الشكل 9.2 نلاحظ ما يلي:

- القطر 200 mm (Ø 8") هو المناسب حيث تكون السرعة بحدود 4.7 m/s
- هبوط الضغط للمتر الواحد يساوي 2.4 Pa وذلك عند درجة حرارة هواء 20 °C



الشكل 9.2

3. مجرى الهواء مسبق العزل (Pre-insulated (PI:

عبارة عن عازل من الفوم مغلف بمادة الألمنيوم من الطرفين, غالباً ما تكون مادة الفوم هي Polyisocyanurate بكثافة تتراوح ما بين 40-50 Kg/m^3 مع طبقة ألمنيوم بسماكة 80 micron على الوجهين إذا كان المجرى داخلي, أو طبقة بسماكة 80 micron وأخرى بسماكة 200 micron أو أكثر إذا كان المجرى خارجي. وغالباً ما تكون سماكة المجرى 20 mm أو 30 mm, وقد تصل الإيصالية الحرارية للمجرى إلى حوالي 0.153 $Btu/h.F.ft^2$ (0.022 $W/K.m^2$)

يتميز مجرى الهواء مسبق الصنع بخفة الوزن حيث يصل إلى 15% تقريباً من وزن الألواح المعدنية, كما يتميز بسهولة وسرعة التركيب وإمكانية تشكيل المجرى في نفس موقع المشروع وهو صحي أكثر من المعدني وصديق للبيئة ومقاوم للفطريات ونسبة تسرب الهواء أقل. في المقابل فإن خشونة السطح الداخلي للمجرى أكبر بالمقارنة مع المعدني كما أن متانته أقل بكثير من الدكت المعدني.

الشكل 1.3 مجرى الهواء مسبق العزل

يتم استخدام بروفايلات PVC كما هو في الشكل 2.3 أو بروفايلات ألمنيوم وهو الأفضل وذلك لوصل المجاري مع بعضها البعض, ويستخدم الصمغ العادي لتثبيت حواف المجرى عند منطقة الالتقاء ومادة السيليكون كمانع تسرب, ثم يتم تركيب شريط لاصق لحماية أطراف المجرى عند منطقة الالتقاء.

الشكل 2.3 بروفايل PVC

4. مجرى الهواء القماشي Fabric Duct:

عبارة عن مجرى من النسيج يقوم بنقل الهواء وتوزيعه من خلال ثقوب موجودة على المجرى نفسه. يتكون هذا المجرى من نوع معين من القماش مقطعه مقوس, ويحتوي على فوهات صغيرة على طول المجرى تسمح بتسرب الهواء تعمل كفتحات إرسال الهواء, ويمكن استخدام الوصلات الخاصة Fittings مثل الأكواع والنقاصات والتفريعات كما هو بالنسبة للنظام التقليدي.

الشكل 1.4 مجرى الهواء القماشي

يمكن إجمال ميزات مجاري الهواء القماشية بما يلي:

- توزيع الهواء الخارج من المجرى بكفاءة أكبر من الفتحات في النظام التقليدي باعتبار أن الهواء يتم إرساله على طول المجرى.
- تصميم أبسط, حيث نحتاج في النظام التقليدي إلى مجاري فرعية لتوزيع الهواء, بينما باعتبار أن المجرى القماشي يعتبر بحد ذاته ناشر للهواء فلا حاجة لهذه الفروع.
- إمكانية التحكم بالتدفق عن طريق معاير قماشي.
- الفلتر القماشي الذي يتم تركيبه بعد المروحة ويقوم بفلترة هواء الإرسال قبل الخروج من المجرى.
- الكلفة الأقل مقارنة مع النظام التقليدي حيث أن كلفة المواد أقل وكلفة التركيب أقل أيضاً.
- سهولة التركيب: حيث يتم تركيب كابل التعليق ثم تعليق المجرى على الكابل ثم وصل المجرى بالجهاز (المروحة) لاحظ الشكل 2.4
- وزن أخف بكثير من ألواح الصاج المعدني حيث أنه لا يتجاوز 5% من وزن الصاج.

الشكل 2.4 تعليق المجرى القماشي

- سهولة الشحن وانخفاض كلفة الشحن.
- إمكانية تنظيف المجرى بسهولة فائقة من الداخل ومن الخارج وبكلفة صغيرة مقارنة مع النظام التقليدي, حيث يتم فك المجرى بالكامل وغسله ثم إعادة تركيبه.
- باعتبار أن نوعية القماش لا تمتص الرطوبة فهي غير قابلة لتكوين بؤر جرثومية وبالتالي فهو نظام صحي.
- إمكانية نقل المجرى بين عدة مواقع بسهولة.
- عدم إمكانية حصول تكاثف الرطوبة على سطح المجرى نتيجة لطبيعة القماش.
- إمكانية اختيار لون المجرى ليناسب الديكور المحيط.
- ضجيج أقل من النظام التقليدي, كما أنه يملك خاصية امتصاص الضجيج الناتج من مصادر موجودة ضمن الحيز.

في المقابل يمكن اعتبار أن هذا النوع من مجاري الهواء يعيبه ما يلي:

- عدم مقاومة الحريق لفترات طويلة.
- تصميم النظام محصور فقط بواسطة الشركة المصنّعة.
- عدم إمكانية التحقق من قيم التدفقات أو ما يسمى بـ Testing and Commissioning.

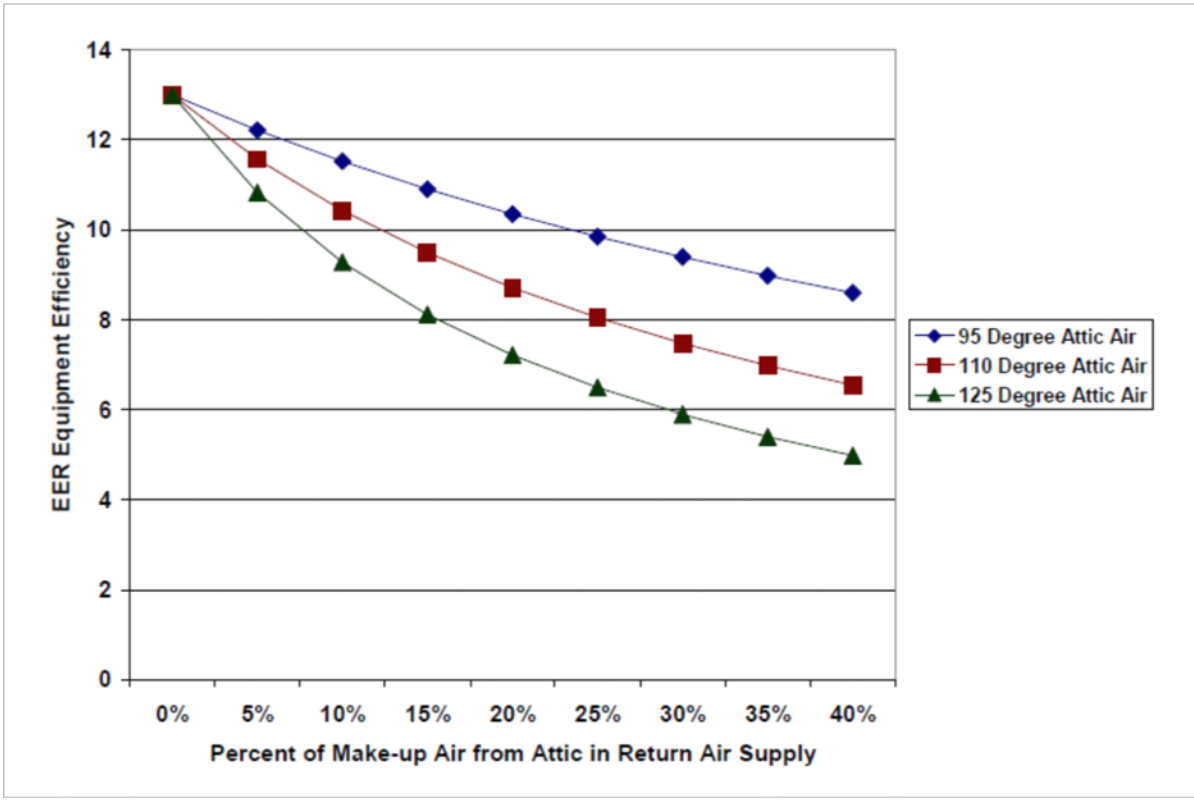
5. تسريب مجاري الهواء:

1.5. مقدمة:

مهما بلغت كتامة مجاري الهواء فإن جزءاً من الهواء سوف يتسرب إلى خارج المجرى في حال كان المجرى لهواء إرسال (ضغط موجب) أو إلى داخل المجرى في حال كان المجرى للهواء الراجع أو الطرد (ضغط سالب) وذلك نتيجة وجود الشقوق ضمن المجرى.

والهواء المتسرب إلى خارج المجرى عبارة عن طاقة ضائعة, كما أن الهواء البارد المتسرب ربما يشكل تكائف للرطوبة عند نقاط التسرب مما يؤدي إلى تلف العازل الحراري وبالتالي قد يسبب مشاكل صحية.

الشكل 1.5 يبين كيف أن زيادة الهواء المتسرب كنسبة من هواء الراجع تؤدي إلى انخفاض قيمة EER (نسبة كفاءة الطاقة Energy Efficiency Ratio) وذلك وفقاً لدرجة حرارة الهواء المحيط بالمجرى, فمثلاً عند تسرب 15% من هواء سقف مستعار درجة حرارته 125 F إلى مجرى الهواء الراجع فإن كفاءة جهاز التكييف تنخفض من EER 13 إلى EER 8[1].



الشكل 1.5 علاقة كفاءة الطاقة مع نسبة الهواء المتسرب

[1] *Builder's Guide to Energy Efficient Homes in Louisiana – chapter 8*

2.5. إحكام مجاري الهواء Air Duct Sealing:

تتغير قيمة تسرب الهواء حسب حجم الدكت والضغط الستاتيكي وطريقة توصيل المجاري ودرجة إحكامها وكمية الفتحات والاختراقات الموجودة في المجاري ومهارة العمالة, علماً أن مواد الإحكام المستخدمة هي:

- الصمغ duct mastic (UL labeled 181) ويتم تطبيقه بواسطة فرشاة أو Gun, بالإضافة إلى شريط شبكي mesh tape.
- السيليكون السائل silicone ويتم تطبيقه بواسطة Gun.
- مانع التسرب gasket يستخدم عند وصل المجاري مع بعضها بواسطة فلانج flange.

ويجب الالتزام بدرجة الإحكام seal class المبين في الجدول 1.5 وذلك حسب قيمة تصنيف الضغط, ووفقاً لدرجة الإحكام يتم تطبيق الإحكام على الوصلات العرضانية والطولانية والاختراقات:

Duct Class	½ 1, 2 in. wg (125, 250, 500 Pa)		3 in. wg (750 Pa)	4, 6, 10 in. wg (1000, 1500, 2500 Pa)
Seal Class	None	C	B	A
Applicable Sealing	N/A	Transverse Joints Only	Transverse Joints and Seams	All Joints, Seams and Wall Penetrations

الجدول 1.5 درجة الإحكام المطلوبة حسب تصنيف الضغط

علماً أن المعيار ASHRAE 90.1 الخاص بتخفيض الطاقة ينص على إحكام جميع أجزاء المجرى بالدرجة A بغض النظر عن تصنيف الضغط[1].

3.5. حساب قيمة التسرب:

تقدر قيمة تسرب الهواء بالعلاقة:

$$F = C_L.P^N$$

F- معدل التسرب لواحدة المساحة

C_L- درجة التسرب, وهوثابت يتعلق بطريقة توصيل المجرى وقيمة الضغط داخله

P- الضغط الستاتيكي

N- رقم يتعلق باضطراب الهواء, يأخذ عادة القيمة 0.65 (وهو يتراوح بين 0.5 – 0.9)

[1] *ASHRAE Standard 90.1-2013 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings – section 6.4.4.2*

وبالتالي يمكن الحصول على قيمة درجة التسرب من العلاقة[1]:

$$C_L = F / P^{0.65} \qquad \text{I.P}$$

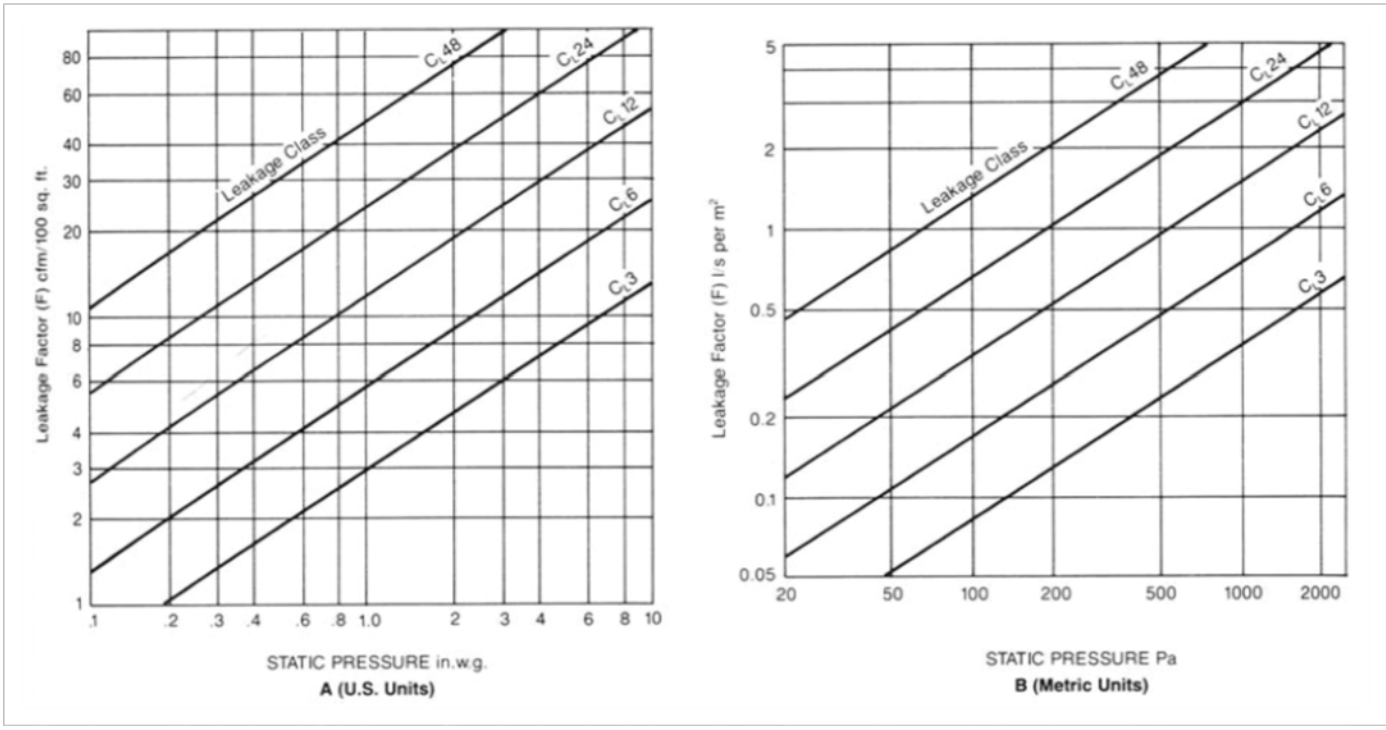
$$C_L = 720\ F / P^{0.65} \qquad \text{S.I}$$

C_L- درجة التسرب عند ضغط ستاتيكي 1 in. wg (250 Pa), $cfm/100\ ft^2$ $(L/s.m^2)$

P- الضغط الستاتيكي, in. wg (Pa)

F- معدل التسرب لواحدة السطح, $cfm/100\ ft^2$ $(L/s.m^2)$

وتم تمثيل هذه العلاقات ضمن المخطط الموضح في الشكل 1.5:



الشكل 1.5 معدل التسرب لواحدة السطح

ويتم تحديد قيمة درجة التسرب C_L وفقاً للجدول 2.5 وذلك حسب درجة الإحكام المطبق ودرجة تصنيف الضغط:

[1] *SMACNA - HVAC Systems Duct Design 4th Edition – 5.21 Duct air leakage*

Duct Class	½ 1, 2 in. wg (125, 250, 500 Pa)		3 in. wg (750 Pa)	4, 6, 10 in. wg (1000, 1500, 2500 Pa)
Seal Class	None	C	B	A
Applicable Sealing	N/A	Transverse Joints Only	Transverse Joints and Seams	All Joints, Seams and Wall Penetrations
Leakage Class (CL) cfm/100 sq. ft (l/s per m^2) at 1 in. wg (250 Pa)				
Rectangular Metal	48	24	12	6
Round and Oval Metal	30	12	6	3
Rectangular Fibrous Glass	N/A	6	N/A	N/A
Round Fibrous Glass	N/A	3	N/A	N/A

الجدول 2.5 درجة التسرب حسب تصنيف الضغط

مثال 1.5:

مجرى هواء دائري قطره 34 in وطوله 8 ft يبلغ الضغط بداخله 2 ½ in. wg كم يتوقع قيمة التسرب ؟

من الجدول 2.5 نجد أن درجة التسرب لصنف الضغط 3" wg لمجرى دائري هي 6 لذلك من خلال الشكل 1.5 نجد أن قيمة التسرب تساوي حوالي 10.6 cfm/100 ft^2, وباعتبار مساحة المجرى الجانبية تساوي $A = \pi \times 34 \times 8 = 854.5\ ft^2$ فإن قيمة التسرب المتوقع تساوي:

$$L = 10.6/100 \times 854.5 = 90.5\ cfm$$

ويمكن تقدير تسرب الهواء كنسبة مئوية كما هو موضح في الجدول 3.5, وغالباً ما تتراوح قيمة التسرب بحدود 2-5%. علماً أن قيمة تدفق هواء الإرسال نسبة لمساحة المجرى الجانبية تتراوح ضمن المجال:

$(10\text{-}25\ L/s.m^2)\ 2 - 5\ cfm/ft^2$.[1]

[1] *SMACNA HVAC air duct leakage test manual 1st edition – Appendix A*

Leakage Class	System Airflow		Static Pressure in. wg (Pa)					
	cfm/ft²	l/s per m2	½ (125)	1 (250)	2 (500)	3 (750)	4 (1000)	6 (1500)
48	2	10	15	24	38			
	2.5	12.7	12	19	30			
	3	15	10	16	25			
	4	20	7.7	12	19			
	5	25	6.1	9.6	15			
24	2	10	7.7	12	19			
	2.5	12.7	6.1	9.6	15			
	3	15	5.1	8.0	13			
	4	20	3.8	6.0	9.4			
	5	25	3.1	4.8	7.5			
12	2	10	3.8	6	9.4	12		
	2.5	12.7	3.1	4.8	7.5	9.8		
	3	15	2.6	4.0	6.3	8.2		
	4	20	1.9	3.0	4.7	6.1		
	5	25	1.5	2.4	3.8	4.9		
6	2	10	1.9	3	4.7	6.1	7.4	9.6
	2.5	12.7	1.5	2.4	3.8	4.9	5.9	7.7
	3	15	1.3	2.0	3.1	4.1	4.9	6.4
	4	20	1.0	1.5	2.4	3.1	3.7	4.8
	5	25	.8	1.2	1.9	2.4	3.0	3.8
3	2	10	1.0	1.5	2.4	3.1	3.7	4.8
	2.5	12.7	.8	1.2	1.9	2.4	3.0	3.8
	3	15	.6	1.0	1.6	2.0	2.5	3.2
	4	20	.5	.8	1.3	1.6	2.0	2.6
	5	25	.4	.6	.9	1.2	1.5	1.9

الجدول 3.5 التسرب كنسبة مئوية من هواء الإرسال

مثال 2.5:

مجرى هواء دائري قطره 34 in وطوله 8 ft يبلغ الضغط بداخله 2 ½ in. wg وقيمة تدفق هواء الإرسال 2100 cfm فكم يتوقع أن تكون نسبة الهواء المتسرب ؟

باعتبار أن درجة التسرب هي C_L= 6 وأن مساحة المجرى تساوي A= 854.5 ft² وبالتالي حاصل قيمة تدفق الإرسال على المساحة تساوي حوالي 2.5 نجد من الجدول 3.5 أن نسبة التسرب تساوي 4.9%.

كما يمكن تقدير قيمة تسرب الهواء وفقاً لواحدة الطول للمجرى[1] كما هو موضح في الجدول 4.5:

Unsealed Longitudinal Seam Leakage, Metal Ducts		Leakage, cfm per ft Seam Length at 1 in. Water Pressure	
Type of Duct/Seam		Range	Average
Rectangular	Pittsburgh lock		
	26 gage	0.01 to 0.02	0.0164
	22 gage	0.001 to 0.002	0.0016
	Button punch snaplock		
	26 gage	0.03 to 0.15	0.0795
	22 gage	NA (1 test)	0.0032
Round	Spiral (26 gage)	NA (1 test)	0.015
	Snaplock	0.04 to 0.14	0.11
	Grooved	0.11 to 0.18	0.12

الجدول 4.5 تسرب الهواء وفقاً لواحدة الطول

3.5. اختبار تسريب مجرى الهواء:

للتأكد من أن قيمة تسرب الهواء تقع ضمن الحدود المقبولة والمحددة في الجداول السابقة يمكن إجراء اختبار تسريب مجرى الهواء (وهو غير إلزامي) على جزء من المجرى أو على كامل المجرى ومقارنة النتيجة مع الجداول.

اختبار التسرب يطبق فقط في حال كان الضغط داخل المجرى من تصنيف w.g "4 أو أكثر[2], كما أنه يطبق على مجاري الهواء الخارجية[3].

لإجراء اختبار تسرب الهواء بالشكل الأمثل يجب اتباع التعليمات الموضحة في المرجع HVAC Air Duct Leakage Test Manual.

1 *ASHRAE Pocket Guide 8th edition – Chapter 1*
2 SMACNA HVAC air duct leakage test manual 1st edition – section 1
3 ASHRAE Standard 90.1-2013 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings - section 6.4.4.2

6. الكسب والضياع الحراري لمجرى الهواء:

يجب عزل جميع أنواع مجاري الهواء وما يتعلق بها بالعزل الحراري وذلك من أجل الحفاظ على درجة حرارة الهواء البارد أو الساخن داخل المجرى قدر الإمكان وبالتالي تخفيض ضياع الطاقة, كما أن العزل الحراري يضمن عدم حدوث تكاثف على جدران المجرى.

يجب حساب قيمة الكسب أو الضياع الحراري وذلك من أجل تقدير كمية تدفق هواء الإرسال المطلوب بدقة أكبر بالإضافة إلى درجة حرارة هواء الإرسال وحمل ملف التبريد والتسخين.

لحساب قيمة الكسب أو الضياع الحراري للمجرى يمكن تطبيق المعادلة التالية:

$$Q_1 = \frac{U.P.L}{12}\left[\left(\frac{t_e + t_1}{2}\right) - t_a\right] \text{ IP}$$

$$Q_1 = \frac{U.P.L}{1000}\left[\left(\frac{t_e + t_1}{2}\right) - t_a\right] \text{ SI}$$

ويمكن حساب درجات حرارة الهواء الداخل والخارج من المجرى بالمعادلات التالية:

$$t_e = \frac{t_1(y+1) - 2t_a}{(y-1)} \qquad \text{IP \& SI}$$

$$t_e = \frac{t_1(y-1) + 2t_a}{(y+1)} \qquad \text{IP \& SI}$$

حيث قيمة y للمجاري المستطيلة تحسب من العلاقة:

$$y = \frac{2.4\ A.V.\rho}{U.P.L} \quad \text{IP} \qquad\qquad y = \frac{2.01\ A.V.\rho}{U.P.L} \quad \text{SI}$$

قيمة y للمجاري الدائرية تحسب من العلاقة:

$$y = \frac{0.6\ D.V.\rho}{U.L} \quad \text{IP} \qquad\qquad y = \frac{0.5\ D.V.\rho}{U.L} \quad \text{SI}$$

A- مساحة المقطع العرضي للمجري, in^2 (mm^2)

V- السرعة الوسطى, fpm (m/s)

D- قطر المجرى, in. (mm)

L- طول المجرى, ft (m)

Q_1- الكسب أو الضياع الحراري خلال جدران المجرى, Btu/h (W)

U- عامل انتقال الحرارة الكلي لجدران المجرى, $Btu/h.ft^2.°F$ ($W/m^2.°C$)

P- محيط المجرى المعزول, in. (mm)

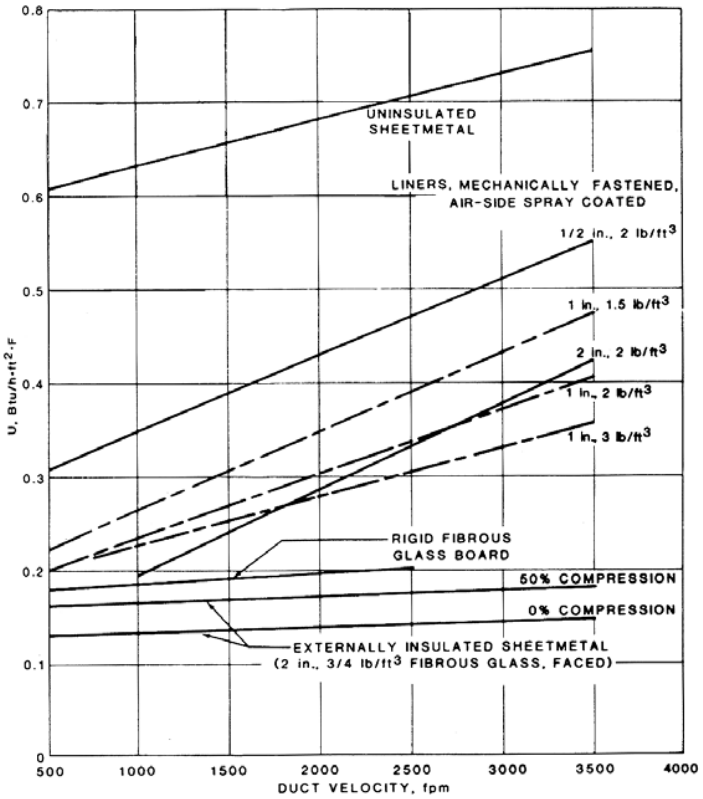
ρ- كثافة الهواء, lb/ft^3 (Kg/m^3)

t_e- درجة حرارة الهواء الداخل للمجرى, °F (°C)

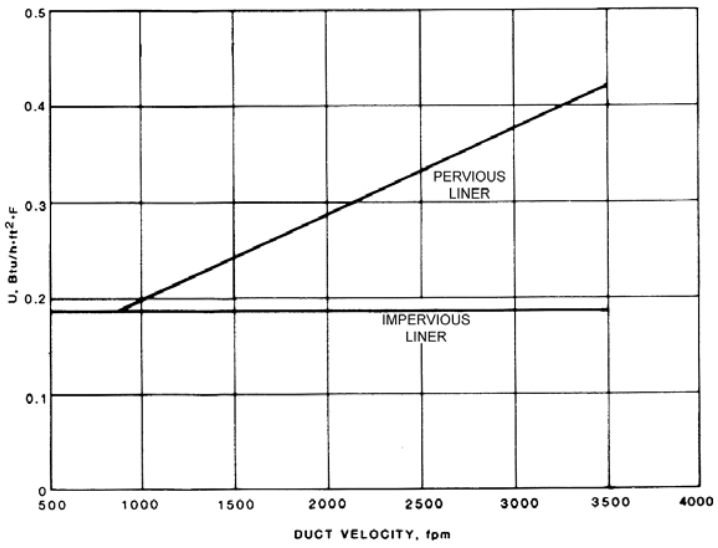
t_1- درجة حرارة الهواء الخارج من المجرى, °F (°C)

t_a- درجة حرارة الهواء المحيط بالمجرى, °F (°C)

يمكن تحديد قيمة عامل انتقال الحرارة[1] من خلال الشكل (1.6.أ) و (1.6.ب)



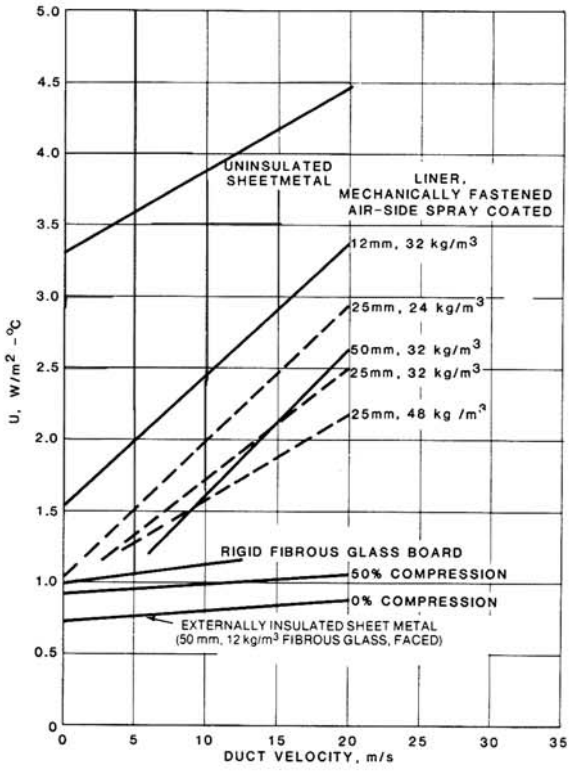
a. Rigid Ducts



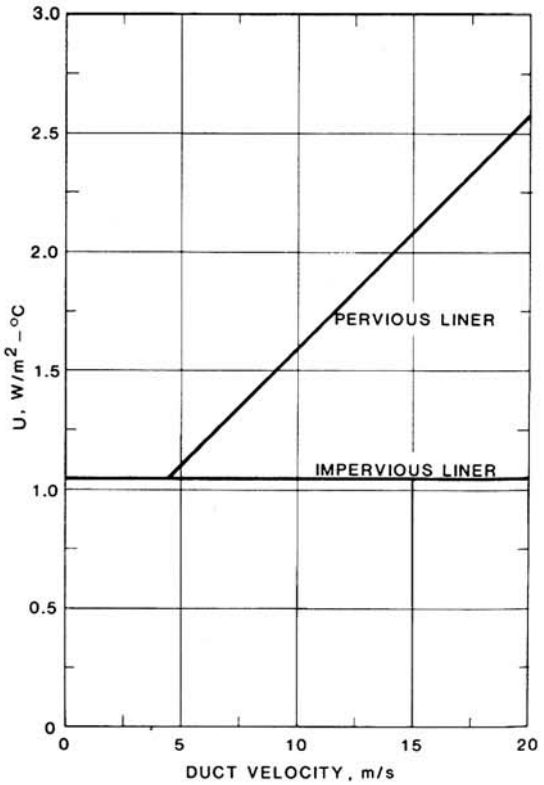
b. Flexible Ducts

الشكل 1.6-أ عامل انتقال الحرارة للعازل الحراري (واحدات بريطانية)

[1] *SMACNA - HVAC Systems Duct Design 4th Edition – Appendix A*



a. Rigid Ducts



b. Flexible Ducts

الشكل 1.6-ب عامل انتقال الحرارة للعازل الحراري (واحدات دولية)

مثال 1.6:

مجرى هواء معدني غير معزول طوله 20 متر بأبعاد 600 x 900 mm يمرر هواء ساخن ضمن حيز درجة حرارته 5 °C. من خلال الحسابات تبين أن الحيز يحتاج تدفق هواء 8100 L/s بدرجة حرارة 50° عند مستوى سطح البحر. حدد درجة حرارة الهواء الداخل إلى المجرى والضياع الحراري.

حدد سرعة الهواء من خلال العلاقة:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1000 \times 8100}{600 \times 900} = 15\ m/s$$

من خلال الشكل 1.6.أ نحدد عامل انتقال الحرارة بالقيمة U = 4.16 W/m^2.°C

ومحيط المجرى يساوي: P = 2 (600 + 900) = 3000 mm

نحسب قيمة y من العلاقة:

$$y = \frac{2.01\ A.\rho}{U.P.L} = \frac{2.01 \times 600 \times 900 \times 15 \times 1.204}{4.16 \times 3000 \times 20} = 78.5$$

لحساب درجة حرارة الهواء الداخل إلى المجرى من العلاقة:

$$t_e = \frac{t_1(y+1) - 2t_a}{(y-1)} = \frac{50\ (78.5+1) - (2 \times 5)}{78.5 - 1} = 51.2\ °C$$

لحساب الضياع الحراري من العلاقة:

$$Q_1 = \frac{U.P.L}{1000}\left[\left(\frac{t_e + t_1}{2}\right) - t_a\right]$$

$$Q_1 = \frac{4.16 \times 3000 \times 20}{1000}\left[\left(\frac{51.2 + 50}{2}\right) - 5\right] = 11382\ W$$

مثال 2.6:

نفس المثال رقم 1 باستثناء أن المجرى معزول من الخارج بـ 50 mm صوف زجاجي بكثافة 12 Kg/m^3 وتم تغليف العزل بالقماش دون تعريضه لأي نسبة انضغاط.

من خلال الشكل 1.6.أ نحدد عامل انتقال الحرارة بالقيمة U = 0.83 W/m^2.°C

ويصبح محيط المجرى: P= 3400 mm

وتصبح قيمة y = 347.3

وبالتالي قيمة t_e = 50.3 °C

ونحسب قيمة الضياع الحراري

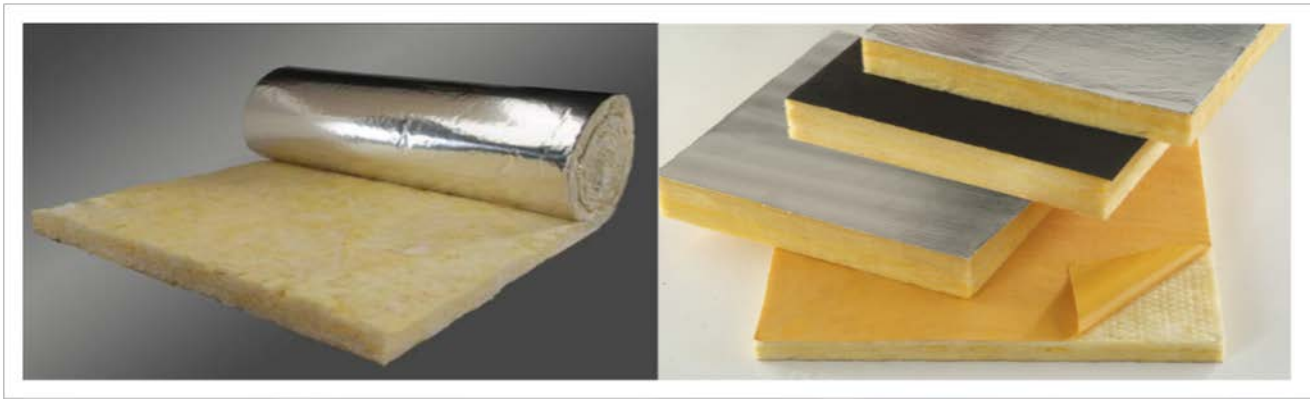
$$Q_1 = \frac{0.83 \times 3400 \times 20}{1000}\left[\left(\frac{50.3 + 50}{2}\right) - 5\right] = 2548\ W$$

نلاحظ أن عزل المجرى خفض الضياع الحراري إلى 20% من المجرى غير المعزول

7. العزل الحراري Thermal Insulation:

يستخدم العازل الحراري لتقليل الضياع أو الكسب الحراري للمجرى نتيجة مرور المجرى في أماكن غير مكيفة, كما أن العزل الحراري يضمن عدم حدوث تكاثف على جدران المجرى.

غالباً ما يتم تصنيع العازل الحراري من مادة الفايبر جلاس Fibrous glass, ويمكن أن يصنع على شكل لفائف أو ألواح صلبة كما هو في الشكل 1.7, أو من مادة الفوم Closed cell foam ويصنع على شكل لفائف كما هو في الشكل 2.7



الشكل 1.7 عازل حراري من الفايبر جلاس (لفائف وألواح صلبة)

الشكل 2.7 عازل حراري من الفوم (لفائف)

ويستخدم العزل الحراري للمجاري المعدنية سواءاً داخل المبنى أو خارجه, كما يستخدم العازل الحراري من نوع فايبر جلاس لعزل المجاري المرنة.

والجدول 1.7 يوضح المقارنة بين نوعي العزل الداخلي علماً أن الأرقام المذكورة تقريبية وليست مرجعية:

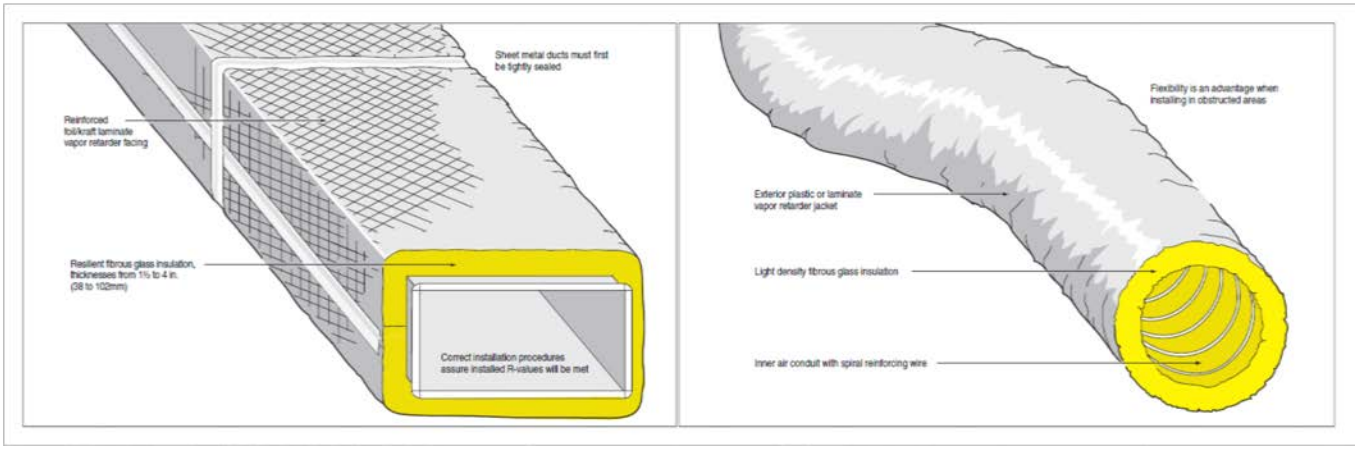
مادة العزل	فايبر جلاس Fibrous Glass		فوم Closed Cell Foam
	مجرى معدني Metal	مجرى مرن Flexible	
السماكة	1 – 4 in. 25 – 100 mm	1 in 25 mm	3/8 – 1 in. 10 – 25 mm
الكثافة	10 - 96 Kg/m³ 0.625 - 6 lb/ft³	16 - 24 Kg/m³ 1 – 1.5 lb/ft³	96 Kg/m³
الإيصالية الحرارية	0.22 Btu.in/ft².h.F 0.032 W/m.K	4.2 F.hr/Btu	0.25 Btu.in/ft².h.F 0.036 W/m.K

الجدول 1.7 مقارنة بين مواصفات العازل الحراري

يتم تثبيت العزل الحراري نوع فايبر جلاس عن طريق الصمغ ثم يتم تلفيح العازل بالقماش Canvas المبلل بمادة Foster وذلك لحماية العزل, وفي حال كان العزل خارج المبنى فيتم حماية العازل بتركيب تغليف من الألمنيوم Aluminum Cladding.

أما عازل الفوم Closed cell foam فيتم تثبيته بسهولة بواسطة اللاصق الموجود عليه.

أما المجاري المرنة فيتم طلبها معزولة من المصنع.



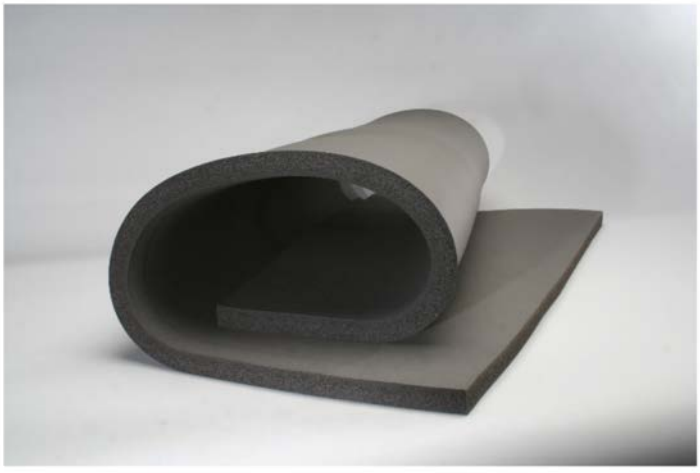
الشكل 3.7 مجاري معزولة حرارياً

8. العزل الصوتي الداخلي Duct Liner:

يتم تركيب العزل الداخلي ضمن المجرى من أجل تخفيض الضجيج المتولد عن أجهزة التكييف وسرعة الهواء ضمن المجرى, وكذلك لتخفيض الضياع أو الكسب الحراري للمجرى, كما أنه يعمل على تقليل احتمال تشكل تكاثف لبخار الماء ضمن السطح الداخلي للمجرى.

غالباً ما يتم تصنيع العزل الداخلي من مادة الفايبر جلاس Fibrous glass, ويمكن أن يصنع على شكل لفائف أو ألواح صلبة كما هو في الشكل 1.8, أو من مادة الفوم Closed cell foam ويصنع على شكل لفائف كما هو في الشكل 2.8

الشكل 1.8 عزل صوتي داخلي من الفايبر جلاس (لفائف وألواح)



الشكل 2.8 عزل صوتي داخلي من الفوم (لفائف)

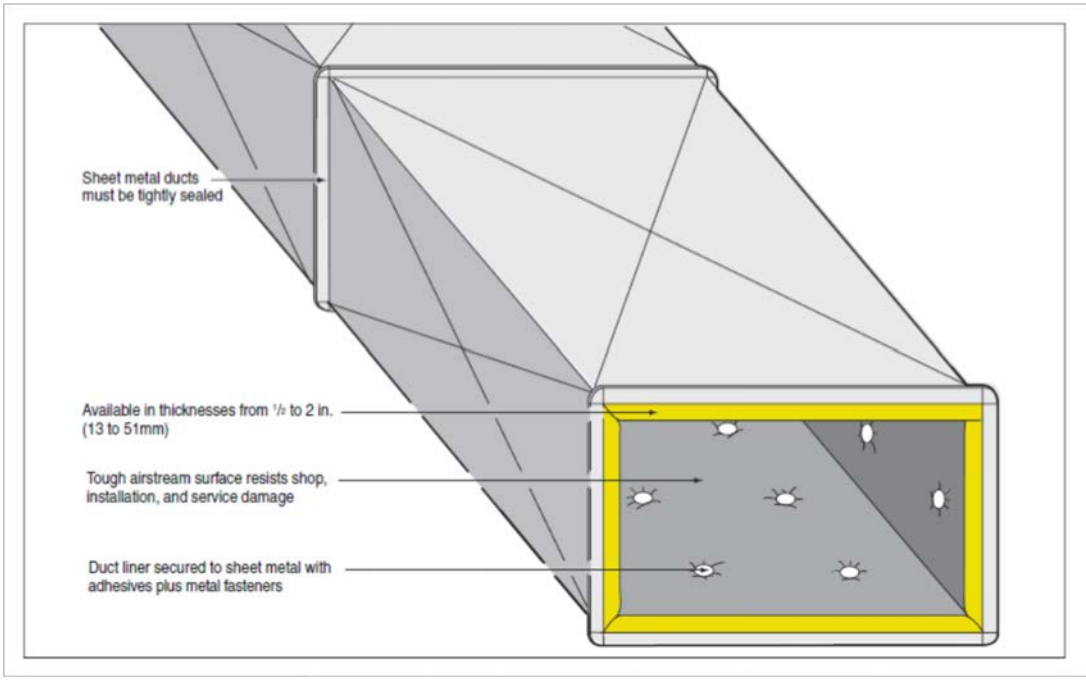
والجدول 1.8 يوضح المقارنة بين نوعي العزل الداخلي علماً أن الأرقام المذكورة تقريبية وليست مرجعية:

مادة العزل الداخلي	فايبر جلاس Fibrous Glass	فوم Closed Cell Foam
السماكة	0.5 — 2 in. 15 — 50 mm	3/8 — 1 in. 10 — 25 mm
الكثافة	24 Kg/m³ 32 Kg/m³ 48 Kg/m³	96 Kg/m³
الإيصالية الحرارية	0.22 Btu.in/ft².h.F 0.032 W/m.K	0.25 Btu.in/ft².h.F 0.036 W/m.K
خشونة السطح الداخلي	Medium Rough to Rough	Average

الجدول 1.8 مقارنة بين مواصفات العزل الصوتي الداخلي

يتم تثبيت العزل الداخلي داخل المجرى عن طريق الصمغ مع مسامير تثبيت.

عند تصميم مجرى مبطن بعزل داخلي من الفايبر جلاس فيجب الانتباه إلى أن خشونة السطح الداخلي تكون كبيرة إما من مرتبة Medium Rough أو يمكن أن تصل إلى Rough وذلك حسب طبيعة العازل, أما بالنسبة لعازل الفوم فتكون من نوع Average.



الشكل 3.8 مجرى معزول صوتياً

9. فتحات الهواء Air Outlets and Intakes:

تستخدم فتحات الهواء لتوزيع الهواء داخل الحيز المكيف أو لإعادة الهواء إلى الجهاز أو لسحب الهواء الخارجي أو لطرد الهواء إلى الخارج, وإن إحدى أهم خطوات الحصول على كفاءة في توزيع الهواء داخل الحيز هي الاختيار الأمثل لمخارج الهواء.

1.9. مصطلحات:

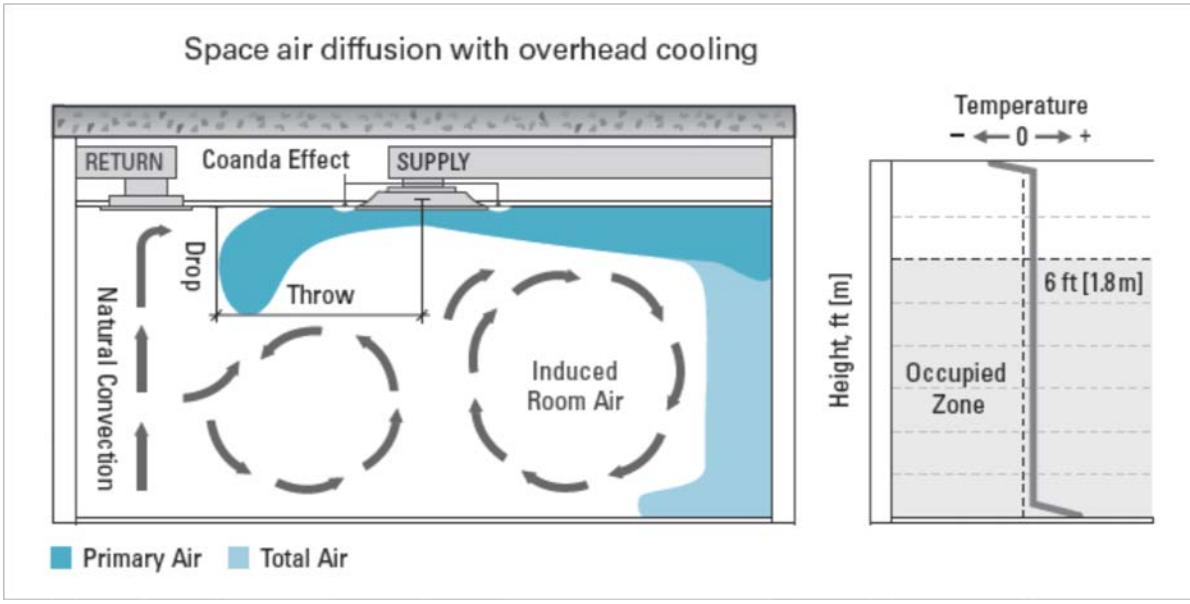
الهواء الابتدائي Primary Air: هو الهواء الخارج من فتحة الإرسال والذي يحرض هواء الغرفة على التحرك.

الهواء الكلي Total Air: عبارة عن مجموع الهواء الابتدائي مع هواء الغرفة المتحرض, ويشمل جميع الحدود التي تكون فيها سرعة الهواء 50 fpm (0.25 m/s) أو أكثر.

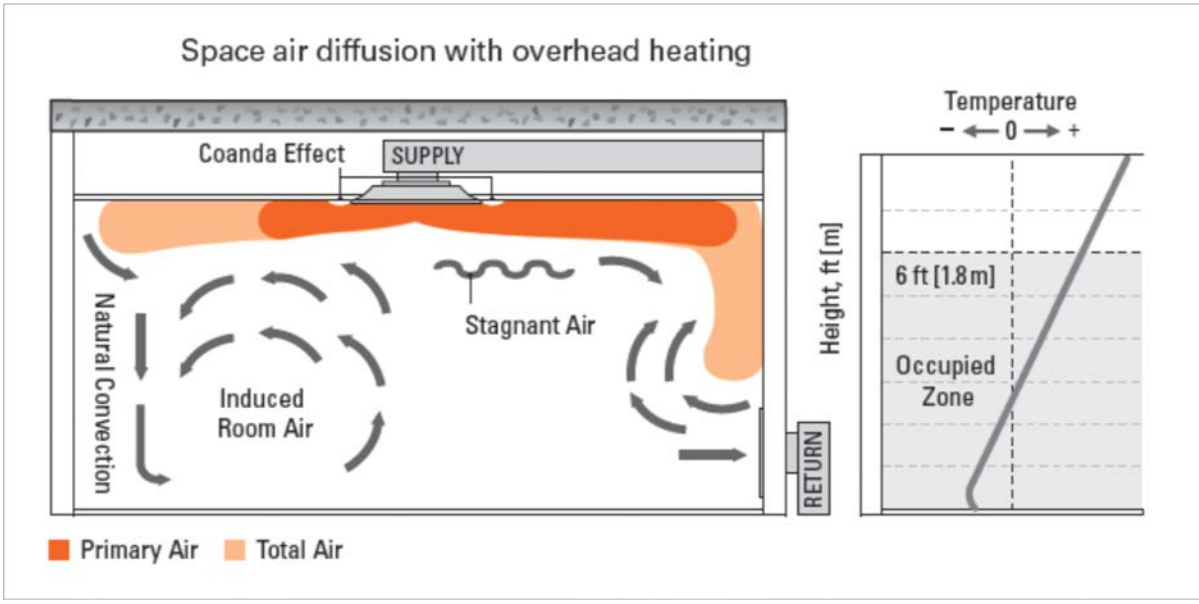
القذف Throw: عبارة عن المسافة التي يقطعها الهواء الخارج من مركز فتحة الإرسال وصولاً إلى الحد الذي تصبح عنده سرعة الهواء بقيمة معينة عادة ما تكون 150 fpm أو 100 fpm أو 50 fpm (0.75 m/s أو 0.5 m/s أو 0.25 m/s).

الهبوط Drop: عبارة عن المسافة الرأسية التي يقطعها الهواء الخارج من فتحة الإرسال نتيجة فرق الكثافة حتى الوصول إلى حدود مسافة القذف.

الانتشار Spread: عبارة عن انحراف التيار الهوائي بشكل أفقي أو رأسي نتيجة تغيير زاوية فتحات شفرات فتحة الإرسال.

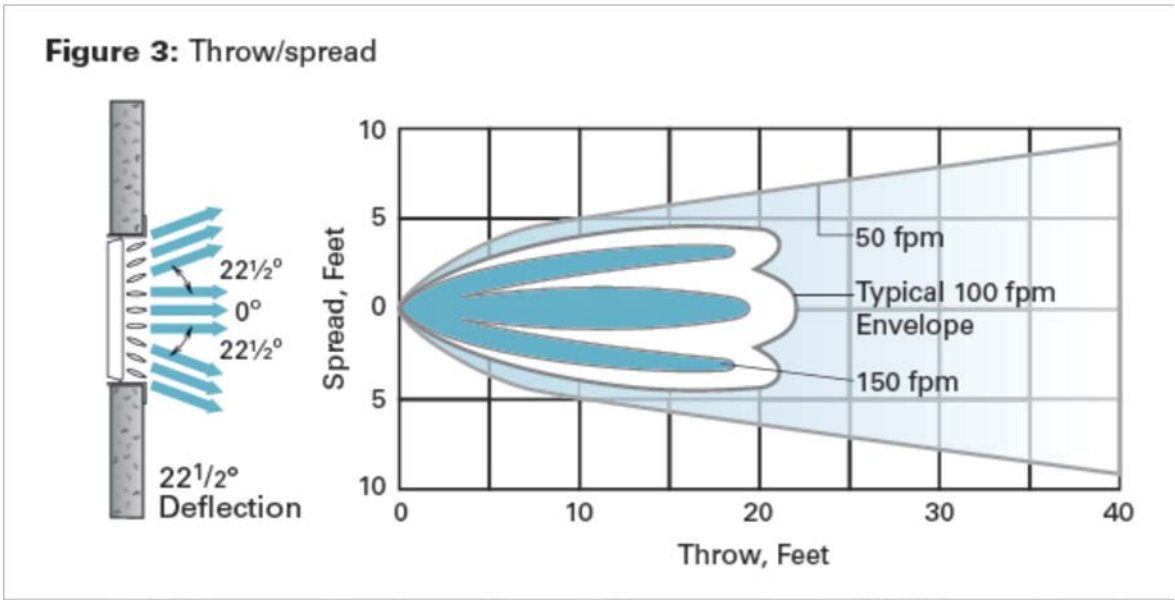


الشكل 1.9

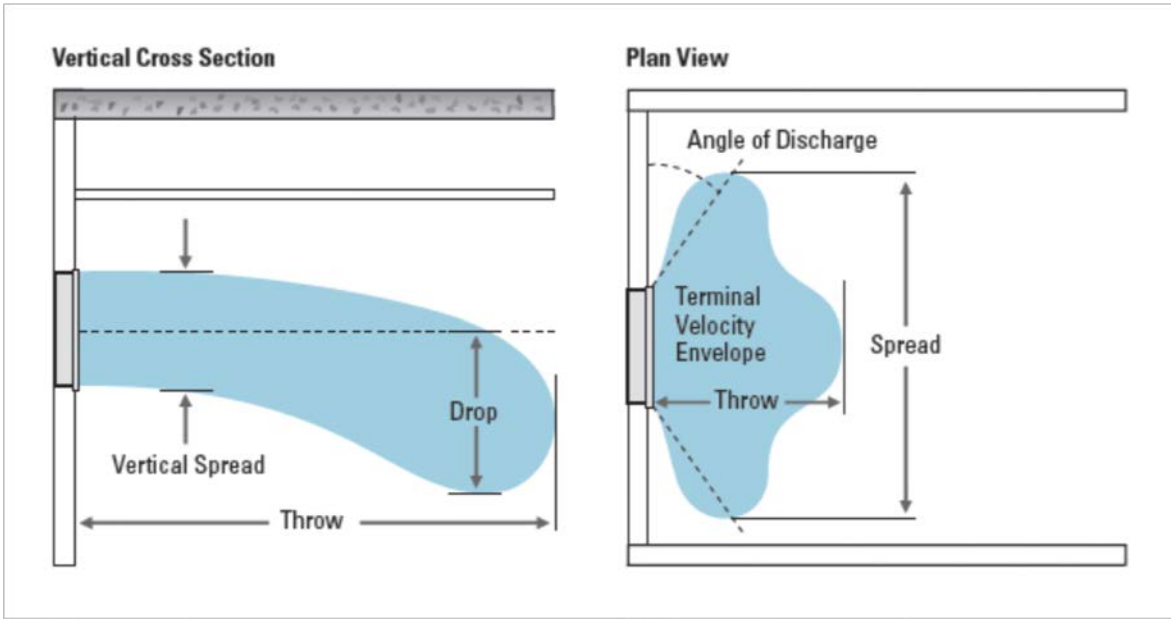


الشكل 2.9

الانحراف Deflection: عبارة عن الزاوية التي يتم تغييرها لصفوف الشفرات من أجل حرف الهواء باتجاه معين. وتؤثر زاوية الانحراف على قيمة القذف والهبوط والانتشار.

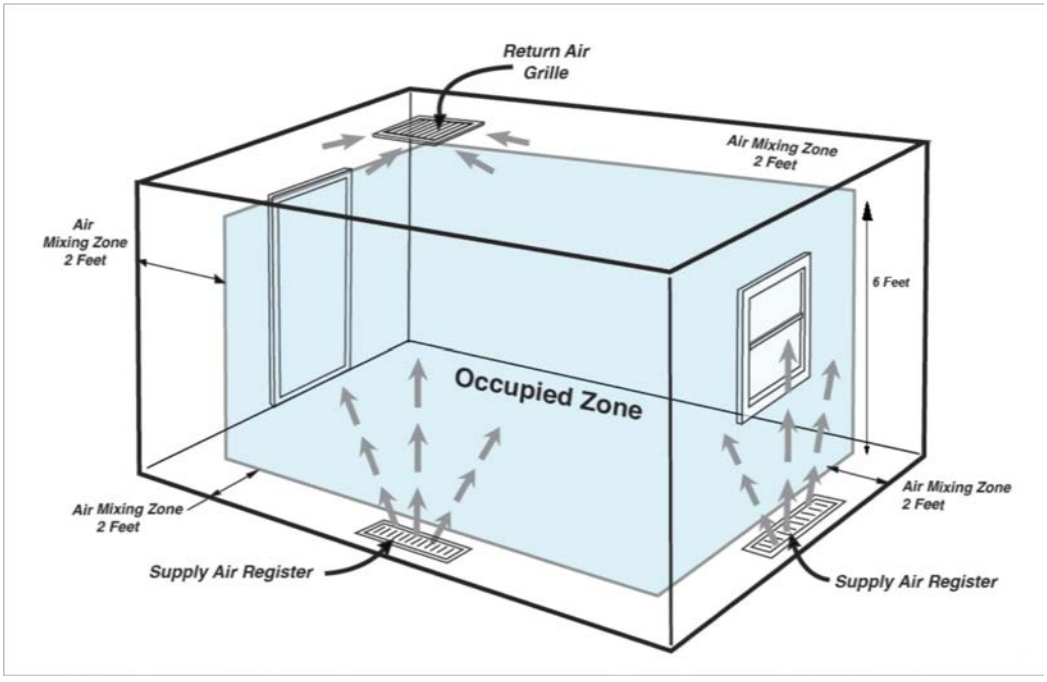


الشكل 3.9 انحراف الهواء



الشكل 4.9 تأثير زاوية الانحراف على قيمة الانتشار والهبوط

المنطقة المشغولة Occupied Zone: هي المنطقة التي ترتفع عن أرضية الغرفة 6 ft (1.8 m) وتبتعد عن الجدران مسافة 2 ft (0.6 m) وهذه الحدود هي التي يتوقع تواجد الأشخاص ضمنها لذلك يجب عدم تعريض هذه المنطقة لتيارات هواء قوية وألا يكون هناك فرق درجات حرارة كبير.



الشكل 5.9 المنطقة المشغولة

تكدس الهواء Air Stratification: عندما يكون هناك فرق درجات حرارة ملحوظ في الحيز حيث تكون درجة الحرارة منخفضة قرب الأرضية ومرتفعة قرب السقف تحدث ظاهرة تدعى تكدس الهواء أي تحوله إلى طبقات نتيجة فرق الكثافة وهو ما يفضل تقليله قدر الإمكان.

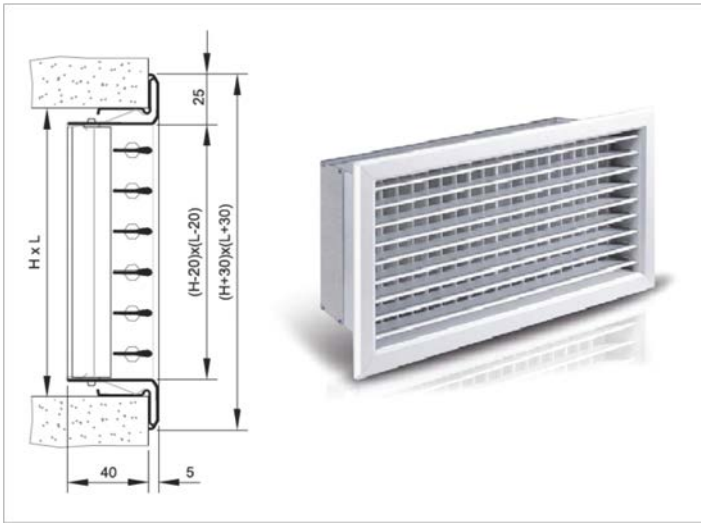
النسبة الباعية Aspect Ratio: عبارة عن النسبة بين البعد الكبير للفتحة إلى البعد الصغير.

2.9. أنواع فتحات الهواء:

1.2.9 فتحة Grille: عبارة عن فتحة مستطيلة أو مربعة الشكل تتكون من عدة صفوف من الشفرات الأفقية والرأسية القابلة للتوجيه في حال كانت فتحة إرسال كما هو مبين في الشكل 6.9 أو من صف واحد من الشفرات الثابتة والمائلة بزاوية 45° في حال كانت فتحة راجع كما هو مبين في الشكل 7.9.

في حال تم استخدام الفتحة لإرسال الهواء عندها تسمى فتحة إرسال Supply Grille, أما في حال تم استخدامها للهواء الراجع عندها تسمى فتحة راجع Return Grille.

ويمكن لأغراض معمارية وديكور داخلي أن يتم استخدام فتحة الإرسال ذات الصفين كفتحة راجع في حال كانت تقابل فتحة إرسال في الديكور.

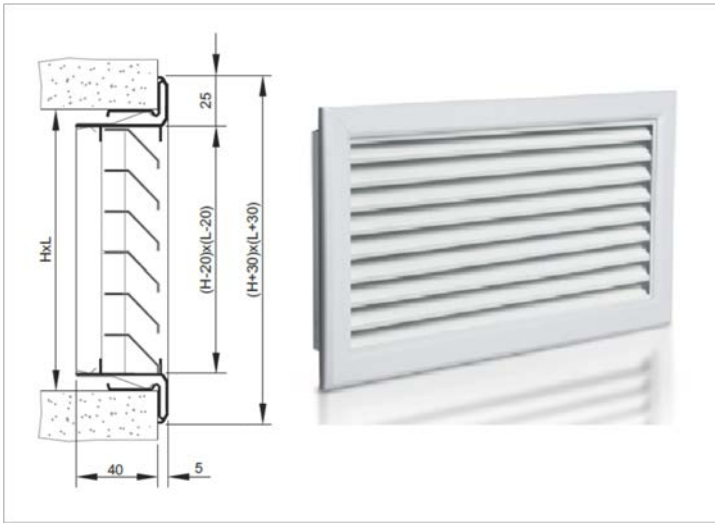


الشكل 6.9 فتحة Grille إرسال

في حال تم استخدام معير هواء Damper مع فتحة Grille عندها نطلق عليها مصطلح Register.

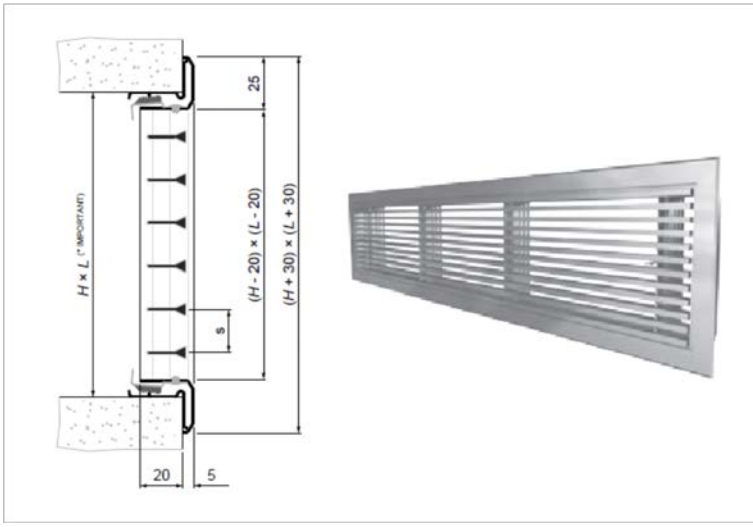
غالباً ما يتم تركيب فتحة الإرسال على الجدار ضمن مسافة 2 ft (610 mm) من السقف, أما فتحة الراجع فيمكن تركيبها ضمن السقف أو الجدار سواءاً على مستوى مرتفع أو منخفض.

ويمكن استخدام فتحات الراجع في طرد الهواء كما هو الحال مثلاً في نظام طرد الهواء من مواقف السيارات وعندها تسمى الفتحة فتحة طرد Exhaust Grille.

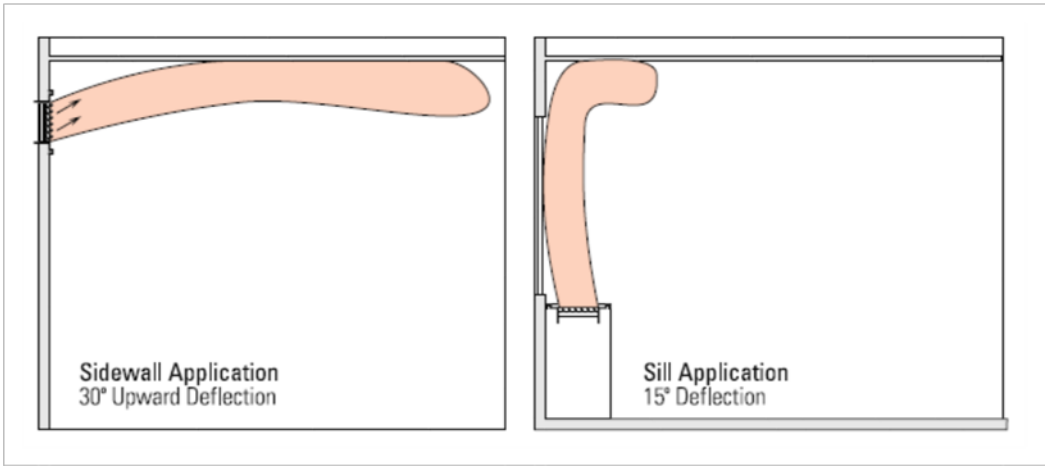


الشكل 7.9 فتحة Grille راجع

2.2.9 فتحة Linear Bar Grille: عبارة عن فتحة تقوم بتوزيع الهواء بشكل خطي نتيجة طولها حيث غالباً ما تكون النسبة الباعية Aspect Ratio كبيرة, ويمكن تركيب هذا النوع من الفتحات على الجدران أو الأرضيات, ويتم تركيب شفرات الفتحة بزاوية انعطاف 0° أو 15° أو 30° كما في الشكل 9.9. ويمكن استخدام هذا النوع كفتحة إرسال أو راجع. تتميز هذه الفتحة بإمكانية تصنيعها بشكل مقوس بحيث تتماشى مع السقف المستعار.

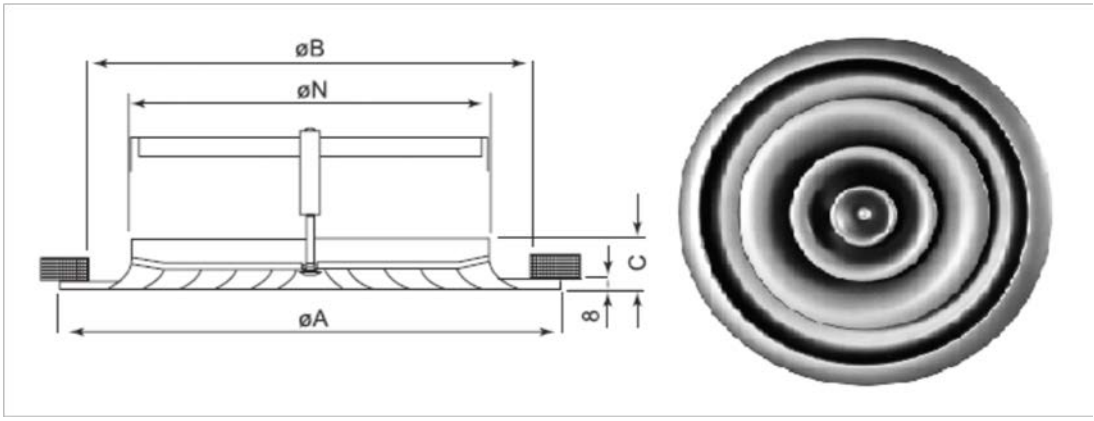


الشكل 8.9 فتحة Linear Bar Grille



الشكل 9.9 تأثير زاوية الانحراف

3.2.9 ناشر الهواء الدائري Round Ceiling Diffuser: عبارة عن عدة حلقات مخروطية مركزية يتم تركيبها ضمن السقف المستعار. غالباً ما يتراوح قطر رقبة الفتحة بين 6 — 36 in. وتستخدم عادة في الأماكن التي يكون فيها مجرى الهواء مكشوف أو عندما يكون السقف المستعار على شكل دوائر بحيث تتماشى معه. وباعتبار أن هذا النوع من الفتحات يتم تركيبه ضمن السقف المستعار لذلك فإن قذف الهواء يكون بشكل أفقي مما يسمح بانتشار الهواء لذلك تسمى بناشرات الهواء.

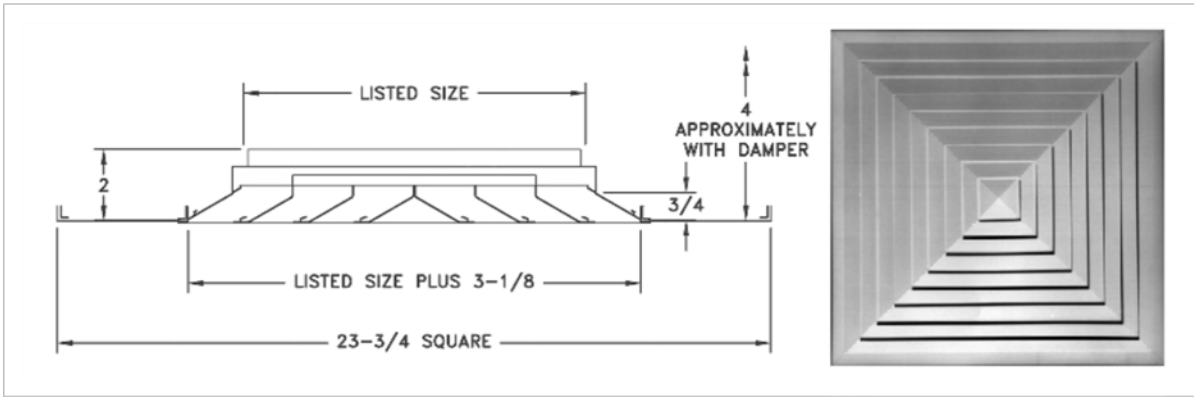


الشكل 10.9 ناشر دائري

4.2.9 ناشر الهواء المربع Square Ceiling Diffuser: عبارة عن عدة مخاريط مربعة الشكل مركزية يتم تركيبها ضمن السقف المستعار مما يضمن نشر الهواء بكافة الاتجاهات ويكون عادة وفق أبعاد رقبة معينة هي:

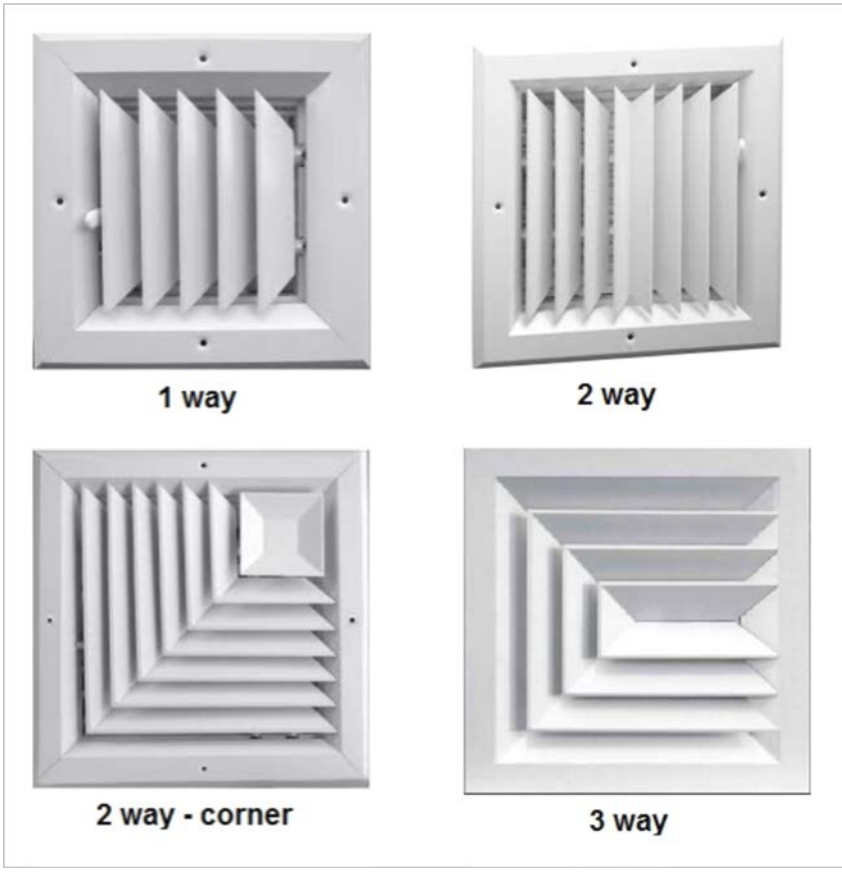
6x6 — 9x9 — 12x12 — 15x15 — 18x18 — 21x21 — 24x24 inch

150x150 — 225x225 — 300x300 — 375x375 — 450x450 — 525x525 — 600x600 mm



الشكل 11.9 ناشر مربع

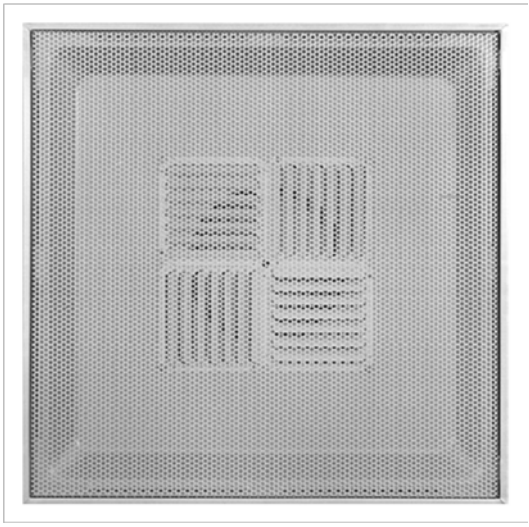
يمكن أن يكون الناشر مربع الشكل أو مستطيل, ويأتي بعدة ترتيبات من حيث توجيه الهواء حيث يأتي بأربع اتجاهات وثلاث اتجاهات واتجاهين واتجاه واحد كما هو موضح في الشكل 12.9. ففي حال وجود ممر طويل وضيق وكان المطلوب استخدام ناشرات سقفية فالأفضل استخدام ناشر يوزع الهواء باتجاهين على طول الممر, أما لو اضطر المصمم إلى تركيب الناشر في بداية الممر فالأفضل تركيب ناشر يوزع الهواء باتجاه واحد فقط إلى داخل الممر.



الشكل 12.9 ناشر مربع باتجاه واتجاهين وثلاثة اتجاهات

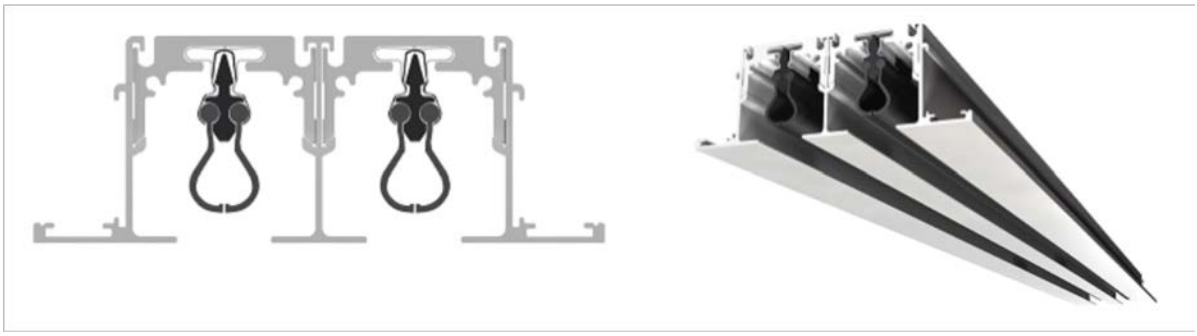
أما في حال تركيب ناشر في زاوية الغرفة مثلاً فالأفضل تركيب ناشر هواء يوزع الهواء لاتجاهين على شكل زاوية بحيث يتوجه الهواء إلى داخل الغرفة. وفي حال كان مكان الفتحة في بداية منتصف الغرفة فيتم تركيب ناشر هواء بثلاث اتجاهات بحيث نتفادى إرسال الهواء إلى الجدار القريب.

5.2.9 الناشر السقفي المثقب Perforated Ceiling Diffuser: هذا النوع من الفتحات يشبه إلى حد كبير ناشر الهواء السقفي المربع حيث يتم تصميمه بشكل مربع أو مستطيل ويرسل الهواء باتجاه أو اثنين أو ثلاثة أو أربعة, ويتميز الناشر أن وجهه مثقب بحيث يتماشى مع بلاطات السقف المستعار من النوع كاتم الصوت لذلك يتم تركيب هذا الناشر مع هذه البلاطات. ويمكن استخدام هذا الناشر كفتحة إرسال أو راجع.



الشكل 13.9 ناشر سقفي مثقب

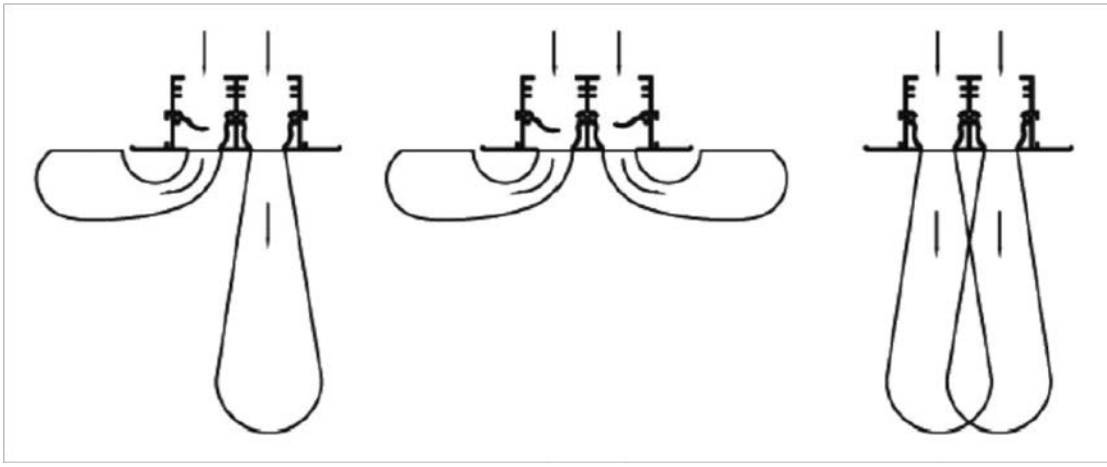
6.2.9 فتحة Linear Slot Diffuser: عبارة عن فتحة تقوم بتوزيع الهواء بشكل خطي نتيجة طولها حيث غالباً ما تكون النسبة الباعية Aspect Ratio كبيرة, وغالباً يتم تركيب هذا النوع من الفتحات ضمن السقف المستعار.



الشكل 14 فتحة Linear slot diffuser

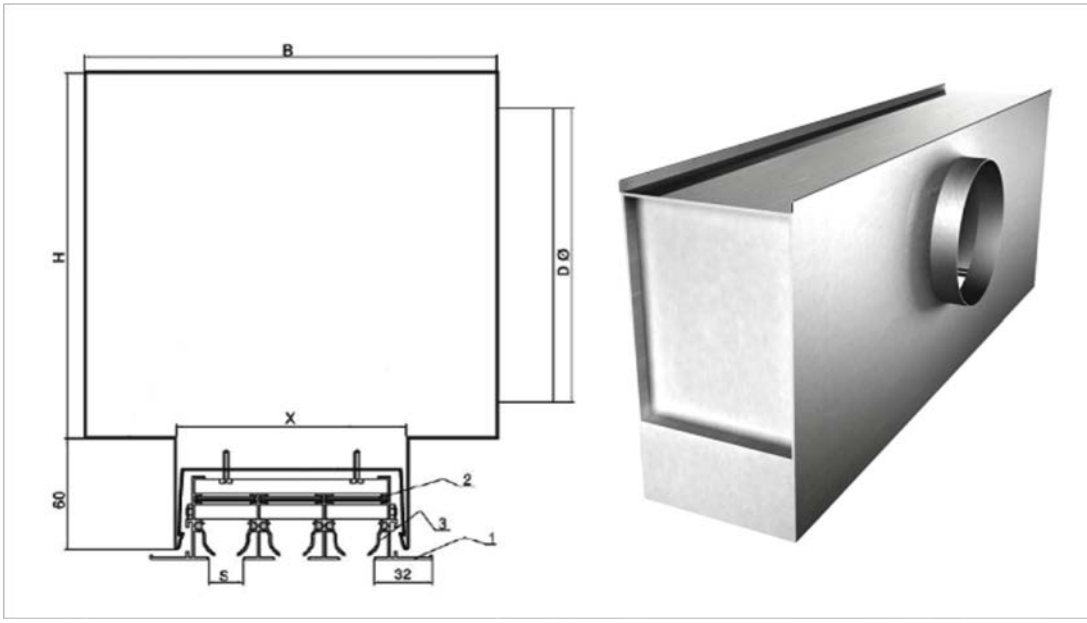
تحتوي الفتحة على شفرات قابلة للتدوير بحيث تنشر الهواء بشكل أفقي أو رأسي كما هو موضح في الشكل 15.9, وتحوي الفتحة شقوق طولانية تكون بعرض 1 inch , ¾ , ½ (15, 20, 25 mm) مع إمكانية اختيار عدد الشقوق من 1 إلى 8.

تتميز هذه الفتحة بإمكانية تصنيعها بشكل مقوس بحيث تتماشى مع السقف المستعار, ويمكن تركيبها بطول كبير جداً مما يجعلها مناسبة للمساحات الكبيرة والطويلة.



الشكل 15.9 انتشار الهواء في فتحة Linear slot diffuser

وإن هذه الفتحة يتم تركيبها أسفل صندوق Plenum كما هو موضح في الشكل 16.9 بحيث يتم ربط الصندوق مع المجرى الرئيسي عن طريق مجرى مرن Flexible duct ويكون طول الصندوق بنفس طول الفتحة.



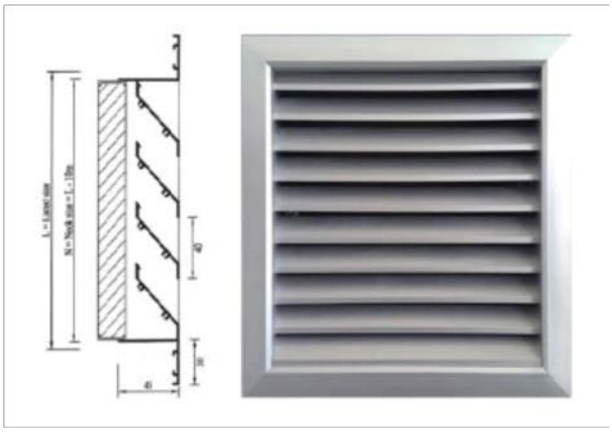
الشكل 16.9 تركيب صندوق Plenum

تتميز فتحة Linear Slot Diffuser بانخفاض الضجيج الصادر عنها بالمقارنة مع باقي الفتحات, لكنها تستهلك ضغط أكبر كما أنها مكلفة أكثر من باقي الفتحات.

7.2.9 فوهات النفث Jet Nozzles: عبارة عن فتحات ذات تصميم خاص يؤمن قذف هواء كبير حيث يتم استخدامها في المساجد والمطارات والصالات الرياضية والمولات وبشكل عام تستخدم في المساحات الكبيرة ذات الارتفاع الكبير والذي نحتاج معه لمسافة قذف كبيرة للهواء. وهي بعدة أشكال كما هو موضح في الشكل 17.9

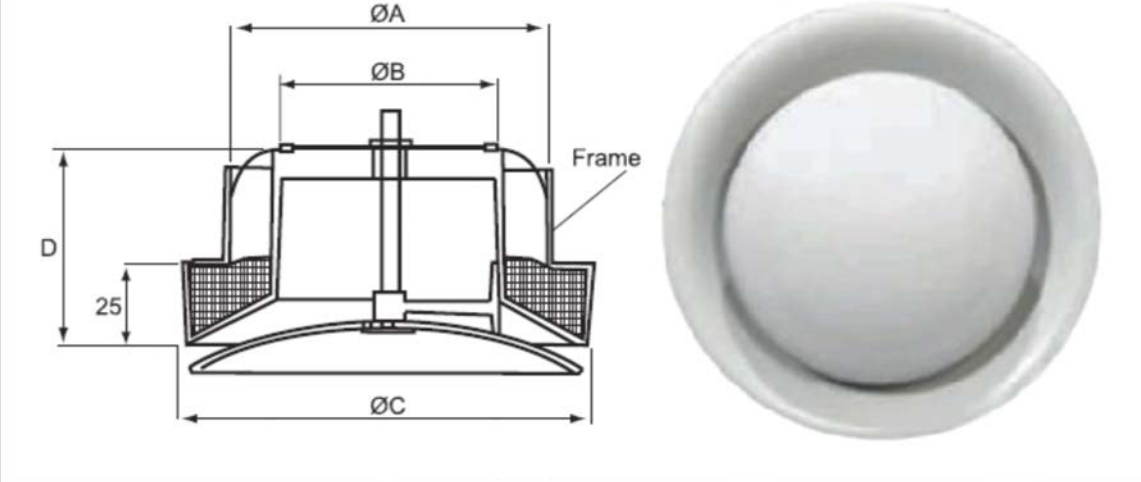
الشكل 17.9 فتحة Jet diffuser

8.2.9 فتحات دخول هواء خارجي Fresh Air Louvers: عبارة عن فتحات مصممة لدخول الهواء الخارجي مزودة بشفرات أفقية ثابتة مائلة بزاوية 45° ويسمح تصميم الشفرات بدخول الهواء الخارجي لكن لا يسمح بتسرب الماء في حال هطول الأمطار, وأحياناً يتم تزويدها بشبك وقاية لمنع دخول الحشرات. وتستخدم نفس الفتحات من أجل طرد الهواء للخارج وعندها تسمى Exhaust Air Louver.



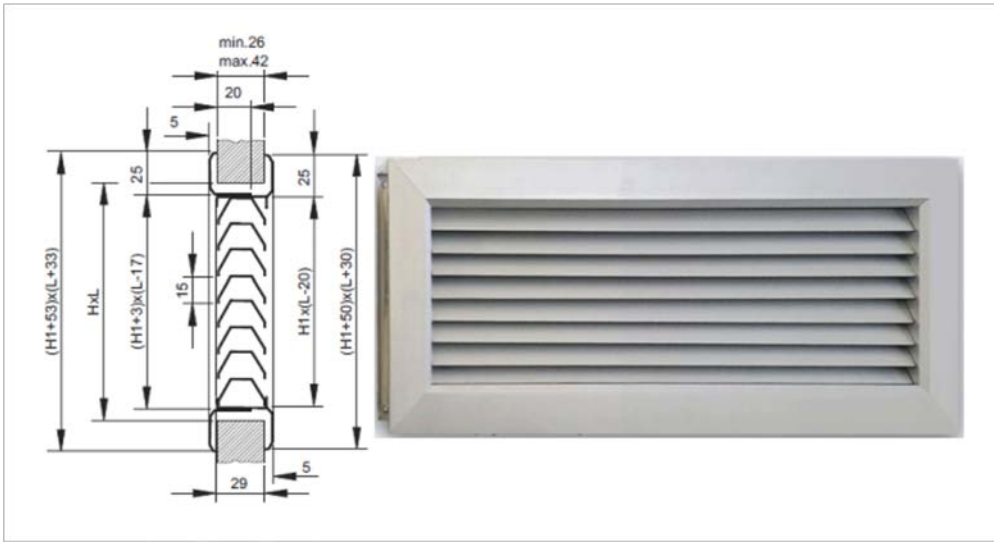
الشكل 18.9 فتحة Air louver

9.2.9 صمامات الطرد Exhaust Valve: عبارة عن فتحات دائرية الشكل مزودة بصمام عياري للتحكم بتدفق الهواء تستخدم لطرد الهواء من الحمامات والمطابخ والمخابر وغيرها.



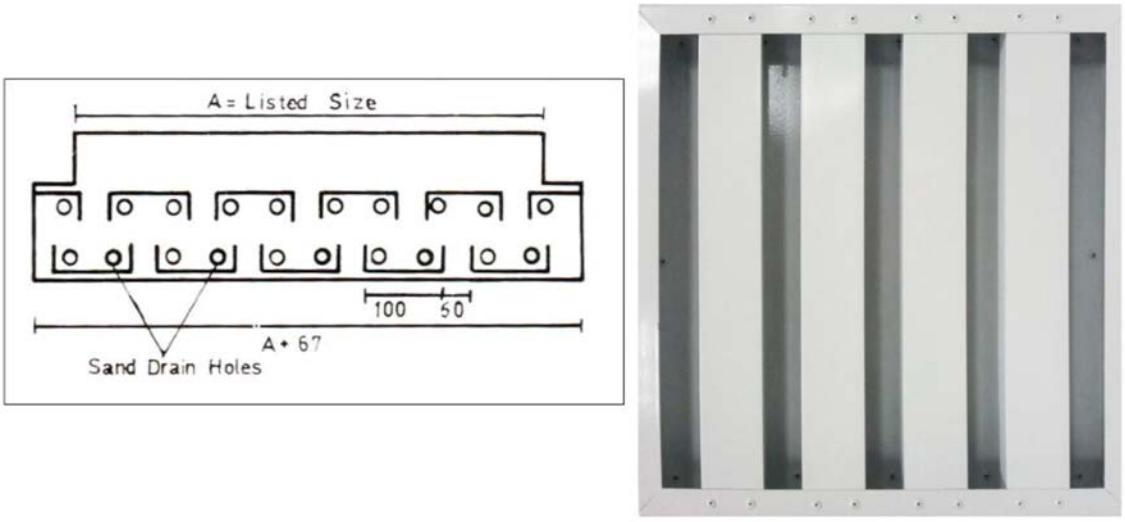
الشكل 19.9 صمام طرد

10.2.9 فتحات الأبواب Door Grille: يتم تركيب هذه الفتحات ضمن الأبواب أو الجدران الفاصلة وعلى جهتي الباب, والغاية منها تمرير الهواء من حيز إلى آخر ضمن تمرير الرؤية.



الشكل 20.9 فتحة Door Grille

11.2.9 لاقط الأتربة Sand Trap: يستخدم لاقط الأتربة في مدخل وحدات المعالجة المخصصة للهواء الخارجي بالكامل أو في مدخل مجاري الهواء الخاصة بالهواء الخارجي وذلك لتصفية التراب كمرحلة أولى قبل وصوله إلى الفلاتر.



الشكل 21.9 لاقط الأتربة

3.9. أنواع المعيرات Dampers:

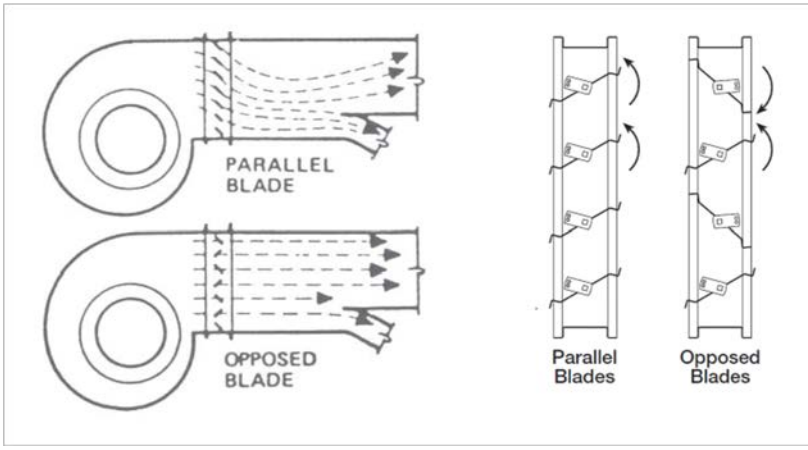
يوجد العديد من المعيرات والصمامات التي تستخدم في مجاري الهواء لأسباب مختلفة حسب الوظيفة المطلوبة منها:

1.3.9 معير التدفق Volume Control Damper (VCD): يستخدم لمعايرة تدفق الهواء المار في المجرى أو الخارج من فتحة الإرسال أو الراجع أو الطرد, وهو بعدة أشكال حسب مكانه, فإذا كان ضمن المجرى المستطيل أو خلف فتحة الهواء المستطيلة يكون إما من النوع المعروف بـ Opposed Blade Damper نتيجة شكل الشفرات المتقابلة أو Parallel Blade Damper نتيجة شكل الشفرات المتوازية كما هو موضح في الشكلين 22.9 و 23.9. يستخدم معير الشفرات المتوازية في حال كان يعمل للفتح الكامل أو الإغلاق الكامل (On-Off) أما معير الشفرات المتقابلة فيستخدم لأغراض المعايرة الجزئية.

أما في حال كان المعير ضمن مجرى دائري كما هو الحال في المجاري المرنة فيكون شكل المعير كما هو موضح في الشكل 24.9.

أحياناً يتم تزويد المعير بمحرك بحيث يغلق المعير ويفتحه من إشارة يتلقاها وعندها يسمى بـ Motorized Damper.

الشكل 22.9 معيرات الهواء بشفرات متقابلة وشفرات متعاكسة

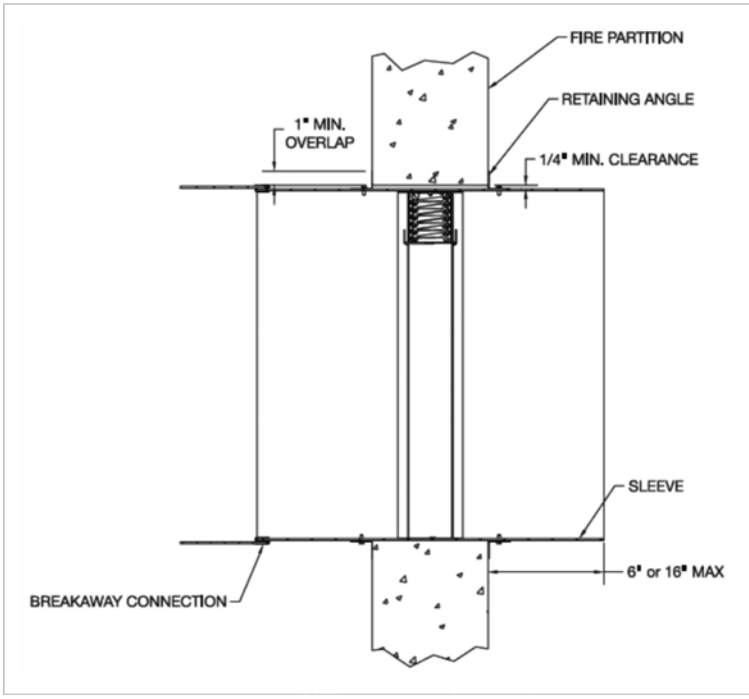


الشكل 23.9 تأثير نوع المعير على حركة الهواء

الشكل 24.9 معير هواء لمجرى دائري

2.3.9 صمام الحريق Fire Damper: يعمل صمام الحريق على الفصل بين الغرف عند اختراق مجرى الهواء للجدران والحالة الطبيعية له هي حالة الفتح. وعند تحسس وجود حريق – غالباً عند درجة حرارة 165 °F (74 °C) - يغلق الصمام لمنع انتشار اللهب بين المناطق. وللصمام نوعان: الستائري ومتعدد الشفرات كما هو موضح في الشكل 25.9.

الشكل 25.9 صمام حريق



الشكل 26.9 صمام حريق ستائري

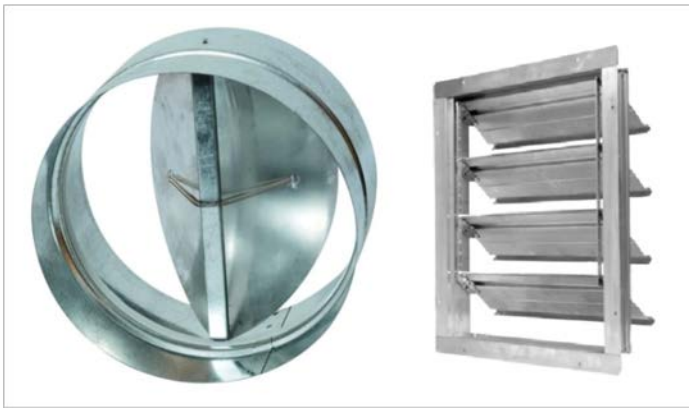
3.3.9 صمام الدخان Smoke Damper: يعمل صمام الدخان على الفصل بين الغرف عند اختراق مجرى الهواء للجدران والحالة الطبيعية له هي حالة الفتح, وعند تحسس وجود دخان يغلق الصمام لمنع انتشار الدخان بين المناطق.

الشكل 27.9 صمام دخان

ويمكن الجمع بين صمامي الحريق والدخان في صمام واحد حيث يغلق هذا الصمام في حال تحسس وجود حريق أو دخان.

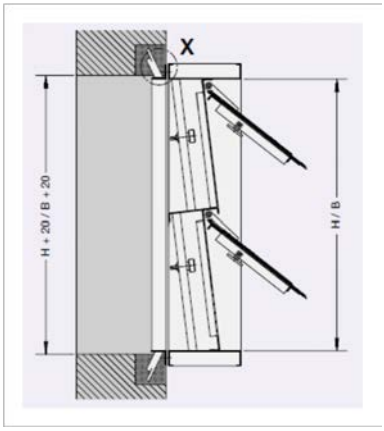
الشكل 28.9 صمام حريق ودخان

4.3.9 صمام عدم الرجوع Non Return Damper (NRD): يستخدم هذا النوع من الصمامات ليسمح للهواء بالتدفق في اتجاه ومنعه من التدفق في الاتجاه المعاكس, ويستخدم هذا الصمام عند مآخذ الهواء الخارجي أو مخارج هواء الطرد أو في الحمامات والمطابخ في حال كانت المجاري التي تسحب الهواء من الحمامات والمطابخ تلتقي مع مجاري أخرى ويخشى معها انتقال الروائح في حال توقف المروحة عن العمل. وأحياناً يطلق عليه Back Draft Damper.



الشكل 29 صمام عدم رجوع

5.3.9 صمام تخفيف الضغط Pressure Relief Damper: وهو مشابه من حيث الشكل والعمل لصمام عدم الرجوع لكن غالباً يتم تركيبه على الجدار, إلا أن وظيفته المحافظة على ضغط معين داخل الحيز بحيث يكون الصمام مغلقاً نتيجة ثقل الشفرات عند ضغط معين, وعند ازدياد الضغط داخل الحيز بحيث يصبح أكبر من وزن الشفرات يفتح الصمام مما يؤدي إلى تخفيف الضغط. يستخدم هذا الصمام مع نظام ضغط السلالم أثناء حدوث حريق وذلك للمحافظة على ضغط معين داخل السلالم.



الشكل 30 صمام تخفيف الضغط

4.9. اختيار فتحات الهواء:

لا يوجد معيار محدد لتحديد نوع الفتحات المستخدمة وعددها ضمن الحيز المكيف للحصول على أفضل تدوير للهواء, وإنما موضوع تحديد نوع الفتحات يتعلق بشكل السقف المستعار والتنسيق مع أجهزة الإنارة وباقي الخدمات.

لكن بعد تحديد نوع الفتحات وعددها وبالتالي تحديد تدفق الهواء لكل فتحة, يمكن أن نختار أبعاد الفتحة وفقاً لعدة عوامل تؤخذ بعين الاعتبار:

1.4.9 القذف Throw: إن تأمين مسافة قذف لهواء الإرسال يضمن إلى حد بعيد تدوير الهواء بشكل أمثل, وهذا يقتضي اختيار الفتحات بعناية.

عادة ما يتم عرض بيانات قذف الهواء وفقاً لسرعات طرفية: 50 fpm ,100 fpm ,150 fpm (0.25 m/s ,m/s 0.5 ,0.75 m/s) ونرمز لها برمز T ثم قيمة السرعة مثل T100. وغالباً ما يتم اختيار مخارج الهواء بناءاً على سرعة T50 (T0.25).

خطوات اختيار فتحة الإرسال:

1- تحديد قيمة تدفق الهواء المطلوب لفتحة الإرسال مع تحديد أبعاد الغرفة.
2- اختيار نوع الفتحة بشكل مبدئي وتحديد موقع الفتحة ضمن الغرفة.
3- تحديد قيمة الطول المميز للغرفة Room Characteristic length L: وهو عبارة عن المسافة بين فتحة الإرسال والجدار المحيط في الاتجاه الأفقي لتيار الهواء. لكن في حال عدم اصطدام هواء الإرسال بالجدار وإنما يختلط مع تيار هواء صادر من مخرج مجاور عندها يصبح الطول المميز عبارة عن نصف المسافة بين المخرجين بالإضافة إلى المسافة الرأسية التي يقطعها المزيج للوصول إلى المنطقة المشغولة. الجدول 1.9 يبين كيفية تحديد الطول المميز للغرفة حسب نوع المخرج. والشكل 31.9 يوضح مفهوم الطول المميز للغرفة حسب نوع فتحة الإرسال:

نوع فتحة الإرسال	الطول المميز للغرفة L
فتحة Grille جانبية	المسافة للجدار المعامد لتيار الهواء
ناشر هواء سقفي دائري	المسافة لأقرب جدار أو أقرب تقاطع تيار هوائي (منتصف المسافة بين ناشرين)
فتحة Grille أرضية	طول الغرفة في اتجاه التيار الهوائي
ناشر سقفي نوع Slot Diffuser	المسافة للجدار أو منتصف المسافة بين مخارج الهواء
ناشر هواء سقفي مثقب	المسافة للجدار أو منتصف المسافة بين مخارج الهواء

الجدول 1.9 الطول المميز للغرفة

4- من الجدول 2.9[1] حدد قيمة T_V/L وذلك حسب نوع الفتحة, علماً أن هذا الجدول مختصر ومعدل عن الجدول الأساسي, والأفضل الرجوع إلى الجدول الأساسي للحصول على قيم أدق.

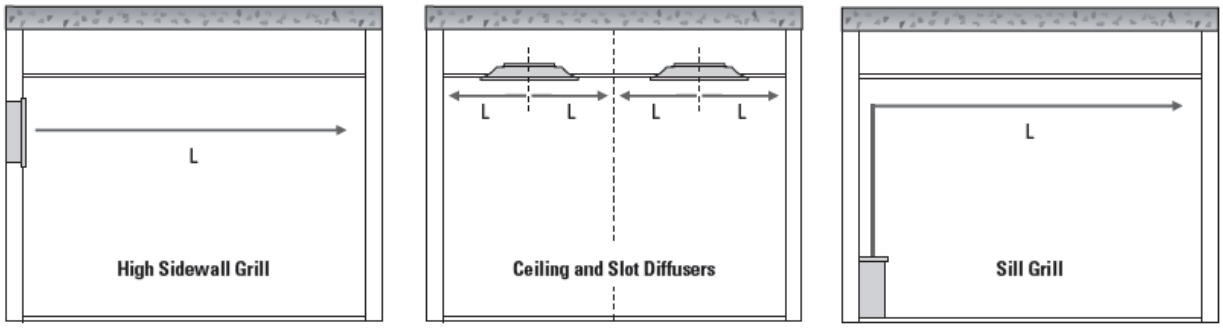
نوع فتحة الإرسال	T_{50} / L	مدى القيمة T_{50} / L
فتحة Grille جانبية	1.7	1.0 — 2.2
ناشر هواء سقفي دائري	0.8	0.5 — 1.5
فتحة Grille أرضية شفرات بزاوية 0	1.6	0.8 — 1.8
فتحة Grille أرضية شفرات بزاوية غير 0	0.7	0.6 — 1.7
ناشر سقفي نوع Slot Diffuser — T_{100}/L	0.3	0.3 — 1.5
ناشر هواء سقفي مثقب	2.0	1.4 — 2.7

الجدول 2.9 القيمة الوسطية لـ T_V/L

5- حدد قيمة مسافة القذف T_V من خلال ضرب قيمة T_V/L بالقيمة L.

6- من خلال الكتالوج يتم اختيار أبعاد الفتحة المناسبة التي تؤمن مسافة القذف المحسوبة, والأفضل ضرب قيمة مسافة القذف المستخرجة بـ 0.75 باعتبار أن القيمة المكتوبة بالكتالوجات عند درجات حرارة Isothermal أي يفترض أن درجة حرارة هواء الإرسال تساوي درجة حرارة الغرفة لكن في حال كانت درجة حرارة هواء الإرسال أقل فتنخفض قيمة مسافة القذف إلى 75% من القيمة المسجلة في الكتالوج تقريباً.

7- يتم التأكد أن الفتحة التي تم اختيارها مناسبة من حيث باقي المواصفات مثل مستوى الضجيج وهبوط الضغط.

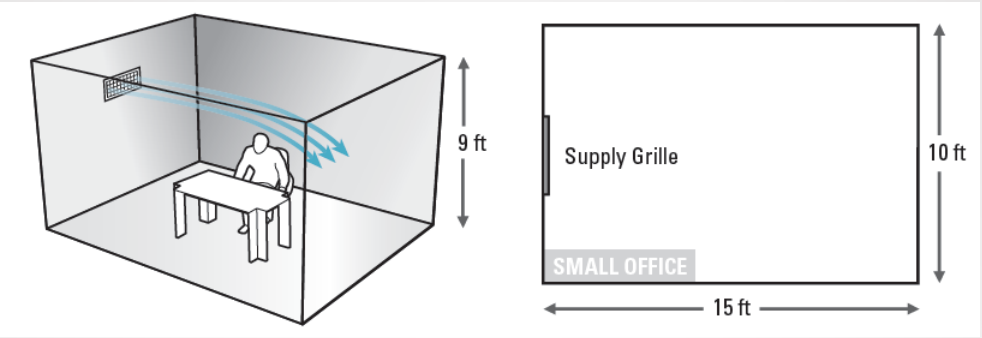


الشكل 31.9 الطول المميز حسب نوع فتحة الإرسال

[1] SMACNA HVAC Systems Duct Design 4th edition – Table 3-5

مثال 1.9: فتحة Grille مطلوب تركيبها في منتصف جدار كما هو موضح في الشكل بحيث تؤمن تدفق 800 cfm بأبعاد غرفة 10 ft x 15 ft. حدد أبعاد الفتحة المناسبة لهذه الغرفة.

من الجدول 1.9 نجد أن L = 15 ft ومن الجدول 2.9 نجد أن $T_{50}/L = 1.7$ لذلك فإن مسافة القذف المطلوبة $T_{50} = 25.5$ ft وباعتبار أن درجة حرارة هواء الإرسال أقل من درجة حرارة الغرفة فإن مسافة القذف ستنخفض إلى 75% من قيمة الكتالوج لذلك نختار فتحة من الكتالوج بحيث تعطي مسافة قذف $T_{50} = 25.5/0.75 = 34$ ft



من الكتالوج وعند تدفق 800 cfm نجد أن الأبعاد 24x10 (المجموعة الأولى) مناسبة لتأمين مسافة القذف المطلوبة حيث تعطي المسافة 35 ft لسرعة T_{50} وزاوية انتشار 0

لكن عملياً هذه المسافة ستنخفض إلى 25.5 ft كما ذكرنا نتيجة اختلاف درجات الحرارة.

ونلاحظ أن الضجيج سيكون NC 23 dB وهبوط الضغط 0.025 In W_g

نلاحظ أنه يمكن تركيب فتحات بأبعاد: 40x6 أو 30x8 أو 22x12 أو 18x14

CFM (L/s)	Grilles Sizes in Inch . (mm)	40x6 (1016x152) 30x8 (762x203) 24x10 (610x254) 22x12 (559x305) 18x14 (457x356) 16x16 (406x406)			48x6 (1219x152) 36x8 (914x203) 30x10 (762x254) 24x12 (610x305) 20x14 (508x356) 18x16 (457x406)			60x6 (1524x152) 40x8 (1016x203) 36x10 (914x254) 30x12 (762x305) 24x14 (610x356) 18x18 (457x457)			72x6 (1829x152) 48x8 (1219x203) 32x12 (812x305) 26x14 (660x356) 24x16 (610x406) 20x20 (508x508)		
	DEFLECTION	0°	22½°	45°	0°	22½°	45°	0°	22½°	45°	0°	22½°	45°
	AK (ft²)	1.28	1.25	1.12	1.44	1.4	1.26	1.66	1.62	1.46	1.96	1.91	1.72
500 (236)	Velocity- Fpm (m/s)	390 (2)	400 (2)	445 (2.3)	345 (1.8)	355 (1.8)	395 (2)						
	T.P - In Wg (Pa)	.010 (3)	.011 (3)	.018 (5)	.008 (2)	.009 (2)	.015 (4)						
	Throw(Ft)@100,50Fpm	18-26	16-20	14-18	16-24	15-19	12-17						
	NC	16	17	19	<15	<15	<15						
600 (283)	Velocity- Fpm (m/s)	470 (2.3)	480 (2.4)	535 (2.7)	415 (2.1)	425 (2.1)	475 (2.4)	360 (1.8)	370 (1.9)	410 (2.1)	305 (1.6)	315 (1.6)	350 (1.8)
	T.P - In Wg (Pa)	0.014 (4)	0.015 (4)	0.026 (7)	0.011 (3)	0.013 (3)	0.022 (6)	0.008 (2)	0.010 (3)	0.016 (4)	0.006 (2)	0.007 (2)	0.012 (3)
	Throw(Ft)@100,50Fpm	20-29	18-22	15-19	18-28	17-21	14-18	18-23	15-20	11-17	15-22	13-17	9-15
	NC	20	21	23	<15	<15	19	<15	<15	15	<15	<15	<15
800 (378)	Velocity- Fpm (m/s)	625 (3.2)	640 (3.3)	715 (3.6)	555 (2.8)	570 (2.9)	635 (3.2)	480 (2.4)	495 (2.5)	550 (2.8)	410 (2.1)	420 (2.1)	465 (2.4)
	T.P - In Wg (Pa)	0.025 (6)	0.027 (7)	.047 (12)	0.020 (5)	0.023 (6)	.039 (10)	0.015 (4)	0.017 (4)	0.029 (7)	0.011 (3)	0.018 (5)	0.021 (5)
	Throw(Ft)@100,50Fpm	25-35	21-27	14-20	23-32	19-23	16-26	22-28	18-25	14-20	19-26	17-22	13-19
	NC	23	24	27	18	19	23	<15	15	20	<15	<15	17
1000 (471)	Velocity- Fpm (m/s)	780 (4.0)	800 (4.1)	895 (4.5)	695 (3.5)	715 (3.6)	795 (4.0)	600 (3.1)	620 (3.1)	685 (3.5)	510 (2.6)	525 (2.7)	580 (3.0)
	T.P - In Wg (Pa)	.038 (10)	.043 (11)	.074 (19)	.032 (8)	.036 (9)	.061 (15)	.023 (6)	.026 (7)	.045 (11)	.017 (4)	.020 (5)	.034 (9)
	Throw(Ft)@100,50Fpm	32-41	28-35	22-29	29-36	25-32	19-25	26-33	24-30	19-25	23-30	21-27	17-23
	NC	26	27	31	22	23	27	18	19	24	15	16	21

مثال 2.9: لدينا غرفة تحتاج تدفق هواء 265 l/s سيتم توزيعه على ناشري هواء سقفيين مربعي الشكل المسافة بينهما 10 m, والمطلوب تحديد أبعاد الناشر المناسب.

من الجدول 1 نجد أن L = 5.0 m ومن الجدول 2 نجد أن $T_{0.25}/L = 0.8$ لذلك فإن مسافة القذف المطلوبة $T_{0.25} = 4.0$ m وباعتبار أن درجة حرارة هواء الإرسال أقل من درجة حرارة الغرفة فإن مسافة القذف ستنخفض إلى 75% من قيمة الكتالوج لذلك نختار فتحة من الكتالوج بحيث تعطي مسافة قذف $T_{0.25} = 4.0/0.75 = 5.3$ m

من الكتالوج وعند تدفق 132 l/s نجد أن الأبعاد 225x225 (المجموعة الثانية) مناسبة لتأمين مسافة القذف المطلوبة حيث تعطي المسافة 5.5 m لسرعة $T_{0.25}$ بأربع اتجاهات.

لكن عملياً هذه المسافة ستنخفض إلى 4.0 m كما ذكرنا نتيجة اختلاف درجات الحرارة.

ونلاحظ أن الضجيج سيكون NC 25 dB وهبوط الضغط 24 Pa

Size (mm)	Area Factor Ak / Neck Area (Sq. M.)	Neck Velocity m/s	1.02	1.52	2.03	2.54	3.05	3.56	4.06	4.57	5.08
		Velocity Pressure (Pa.)	1.00	1.50	2.50	4.00	5.75	7.75	10.00	12.75	15.75
150x150	Ak=0.0086 0.0232	L/s	24	35	47	59	71	83	94	106	118
		Pt (Pa)	4	8	14	22	32	43	55	70	87
		N.C.	< 15	< 15	< 15	17	23	28	32	35	38
		4 way- Throw (m)	2.1-3.0	2.4-3.4	2.7-3.7	3.0-4.3	3.0-4.6	3.4-4.9	3.4-5.2	3.7-5.5	4.0-5.8
		L/s per side A	6	9	12	15	18	21	34	26	30
		3way side A-Throw (m)	2.1-3.0	2.4-3.4	2.7-3.7	3.0-4.3	3.0-4.6	3.4-4.9	3.4-5.2	3.7-5.5	4.0-5.8
		L/s per side B	9	13	18	22	26	31	35	40	44
		3way side B-Throw (m)	2.1-3.4	2.4-3.7	2.7-4.0	3.0-4.6	3.4-4.9	3.7-5.2	3.7-5.5	4.0-5.8	4.3-6.1
		S2-Throw (m)	2.4-3.7	2.7-4.0	3.0-4.6	3.4-5.2	3.7-5.5	4.0-5.8	4.3-6.1	4.6-6.4	4.9-6.7
		S1 - Throw (m)	3.7-4.9	3.7-5.2	4.0-5.5	4.3-6.1	4.6-6.4	4.9-6.7	5.2-7.0	5.5-7.3	5.8-7.6
225x225	Ak=0.0185 0.0522	L/s	53	80	106	132	158	186	212	238	266
		Pt (Pa)	4	9	15	24	34	47	61	77	95
		N.C.	< 15	< 15	19	25	30	35	39	42	45
		4 way- Throw (m)	2.4-4.0	3.0-4.6	3.4-5.2	4.0-5.5	4.6-6.1	4.9-6.7	5.2-7.3	5.5-7.9	5.8-8.5
		L/s per side A	13	20	27	33	40	47	53	60	67
		3way side A-Throw (m)	2.4-4.0	3.0-4.6	3.4-5.2	4.0-5.5	4.6-6.1	4.9-6.7	5.2-7.3	5.5-7.9	5.8-8.5
		L/s per side B	20	30	40	50	60	70	80	89	100
		3way side B-Throw (m)	2.7-4.3	3.4-4.9	3.7-5.8	3.0-6.4	5.2-7.0	5.2-7.6	5.5-8.2	6.1-8.8	6.4-9.5
		S2 & S2C-Throw (m)	2.7-4.3	3.4-5.2	3.7-6.1	3.4-7.0	5.5-7.9	5.8-8.5	6.1-8.8	6.7-9.8	7.0-10.4
		S1 - Throw (m)	4.3-5.8	4.6-6.7	5.5-7.3	4.3-8.2	6.7-9.1	7.3-9.8	7.9-10.7	8.5-11.9	8.8-12.8

2.4.9 الضجيج Noise Criteria: معظم كتالوجات مخارج الهواء تبين قيمة معيار الضجيج NC بناءاً على امتصاص الغرفة لمقدار 10 dB من الضجيج وعلى بعد 5 ft (1.5 m) من الفتحة. لذلك يمكن اختيار فتحة الإرسال بناءاً على تحديد الضجيج الأعظمي المسموح به ضمن الحيز وذلك وفقاً للجدول 3.9[1]. علماً أن وجود أكثر من فتحة إرسال سيؤدي إلى زيادة الضجيج وفقاً للجدول 4.9:

Room Types		Octave Band Analysis[a] NC/RC[b]	Approximate Overall Sound Pressure Level[a] dBA[c]	dBC[c]
Rooms with Intrusion from Outdoor Noise Sources[d]	Traffic noise	N/A	45	70
	Aircraft flyovers	N/A	45	70
Residences, Apartments, Condominiums	Living areas	30	35	60
	Bathrooms, kitchens, utility rooms	35	40	60
Hotels/Motels	Individual rooms or suites	30	35	60
	Meeting/banquet rooms	30	35	60
	Corridors and lobbies	40	45	65
	Service/support areas	40	45	65
Office Buildings	Executive and private offices	30	35	60
	Conference rooms	30	35	60
	Teleconference rooms	25	30	55
	Open-plan offices	40	45	65
	Corridors and lobbies	40	45	65
Courtrooms	Unamplified speech	30	35	60
	Amplified speech	35	40	60
Performing Arts Spaces	Drama theaters, concert and recital halls	20	25	50
	Music teaching studios	25	30	55
	Music practice rooms	30	35	60
Hospitals and Clinics	Patient rooms	30	35	60
	Wards	35	40	60
	Operating and procedure rooms	35	40	60
	Corridors and lobbies	40	45	65
Laboratories	Testing/research with minimal speech communication	50	55	75
	Extensive phone use and speech communication	45	50	70
	Group teaching	35	40	60
Churches, Mosques, Synagogues	General assembly with critical music programs[e]	25	30	55
Schools[f]	Classrooms‘	30	35	60
	Large lecture rooms with speech amplification	30	35	60
	Large lecture rooms without speech amplification	25	30	55
Libraries		30	35	60
Indoor Stadiums, Gymnasiums	Gymnasiums and natatoriums[g]	45	50	70
	Large-seating-capacity spaces with speech amplification[g]	50	55	75

الجدول 3.9 الضجيج المسموح به حسب التطبيق

No. of Outlets	1	2	3	4	8	10	20	40
dB Boost	0	3	5	6	9	10	13	16

الجدول 4.9 مقدار الزيادة في الضجيج حسب عدد الفتحات

في حال كانت مساحة الغرفة كبيرة بوجود عدد كبير من مخارج الهواء فيمكن اعتماد مساحة تتراوح بين $400 - 600\ ft^2$ $(40 - 55\ m^2)$ فقط من أصل المساحة الإجمالية للغرفة لتطبيق قيمة الضجيج عليها[2].

1 ASHRAE Applications Handbook 2011– Chapter 48: Noise and Vibration Control
[2] Recommendation by Price Industries.

مثال 3.9: غرفة اجتماعات ضمن مكتب أبعادها 40 ft x 25 تم تركيب 8 ناشرات هواء إرسال داخلها بحيث يعطي الناشر الواحد 120 cfm ومتوزعة بالتساوي على مساحة الغرفة.

حدد فيما إذا كانت هذه الناشرات توافق مستوى الضجيج المطلوب في الجدول 3.9.

مساحة الغرفة $1000\ ft^2 = 40 \times 25$ نأخذ نصف المساحة فقط في الاعتبارمع نصف عدد الناشرات.

من الكتالوج نلاحظ أن مستوى الضجيج للفتحة عند 120 cfm يساوي 23 NC.

ومن الجدول 4.9 نجد أن من أجل 4 فتحات سيرتفع الضجيج مقدار 6 dB, وبالتالي يصبح الضجيج الإجمالي: $NC = 23 + 6 = 29\ dB$

وهذه القيمة ضمن الحدود المقبولة بالمقارنة مع الجدول 3.9 حيث لغرفة الاجتماعات يسمح بضجيج لا يزيد عن 30 dB.

10. معايير تصميم مجاري الهواء:

يوجد العديد من الاعتبارات التي يفضل أن تؤخذ عند تصميم مجاري الهواء أهمها:

- يجب أن يكون طول المجرى أقل ما يمكن مع استخدام أقل عدد ممكن من الوصلات كالأكواع والتفريعات لتخفيض الكلفة الإنشائية وتخفيض هبوط الضغط في المجرى لأقل حد وبالتالي خفض الكلفة التشغيلية.
- يفضل استخدام مجاري الهواء الدائرية بدلاً من المجاري المستطيلة باعتبار أن هبوط الضغط الناتج عن المجاري الدائرية أقل من مثيلاتها المستطيلة من أجل نفس المحيط. مع ملاحظة أن الكلفة الإنشائية للمجاري الدائرية غالباً ما تكون أعلى من كلفة المجاري المستطيلة.
- عند استخدام المجاري المستطيلة يفضل دائماً أن تكون النسبة الباعية Aspect Ratio (نسبة البعد الأكبر إلى البعد الأصغر) أقرب ما يمكن إلى 1:1 لتقليل الضياعات, ويفضل ألا تتجاوز النسبة 3:1 ويجب ألا تتجاوز النسبة 4:1.
- يجب تقليل طول المجاري المرنة Flexible قدر الإمكان مع مد المجرى لأقصى طول له.
- ليس من الضروري تغيير أبعاد المجرى بعد كل تفريعة, فإذا كان تغيير أحد الأبعاد يحتاج لأقل من 5 Cm (2 inch) فلا داعي لتغيير أبعاد المجرى.
- يجب تحديد مكان جهاز التكييف بحيث يكون أقرب ما يمكن للمنطقة المكيفة وفي نفس لا يؤدي إلى ضجيج مرتفع.
- عند استخدام النقاصة Reducer يفضل أن تكون زاوية الميلان بين 30 - 40°.
- يفضل عدم تركيب أي وصلة بعد المروحة قبل مسافة تعادل 2.5 من قطر المجرى, وفي حال كان المجرى مستطيل فيتم حساب القطر المكافئ بدلالة أبعاد المجرى بالعلاقة:

$$D = \sqrt{\frac{4ab}{\pi}}$$

11. طرق تصميم مجاري الهواء:

1.11. طريقة الاحتكاك المتساوي Equal Friction Method:

حيث يتم اعتماد معدل هبوط ضغط معين على طول المجرى بواحدة in/100 ft (Pa/m) بحيث يتم تطبيقه على كافة مقاطع المجرى. وتعتبر هذه الطريقة هي الأكثر انتشاراً وتستخدم عند حساب أبعاد أنظمة الضغط المنخفض ويفضل تطبيقها على الأنظمة المتناظرة Symmetrical systems وتؤدي هذه الطريقة إلى تخفيض السرعة مع اتجاه التدفق.

يعيب هذه الطريقة صعوبة موازنة تدفقات الهواء عند المخارج حتى لو تم استخدام معيرات Volume Control Dampers. ولا يفضل تطبيق هذه الطريقة في أنظمة VAV.

2.11. طريقة الاحتكاك المتساوي المعدلة Modified Equal Friction:

تستخدم هذه الطريقة عندما يكون النظام غير متناظر Asymmetrical system وهي مشابه لطريقة الاحتكاك المتساوي إلا أنه يتم تصغير أبعاد المسارات غير الحرجة بحيث تؤدي إلى زيادة هبوط الضغط فيها واقتراب قيمة هبوط الضغط لها من القيمة المحسوبة في المسار الحرج Critical Path وهو ما يؤدي إلى حدوث موازنة أفضل للنظام.

3.11. الاستعادة الستاتيكية Static Regain:

تستخدم هذه الطريقة لأنظمة هواء الإرسال حيث يتم تخفيض السرعات بحيث يتم تحويل ضغط السرعة إلى ضغط ستاتيكي يستفاد منه في التغلب على ضياعات الاحتكاك في المقطع التالي. وتؤدي إلى هبوط ضغط إجمالي أقل وبالتالي قدرة مروحة أقل كما تؤدي إلى نظام متوازن بنسبة أكبر خاصة في حال تم استخدامها مع نظام VAV.

يعيب هذه الطريقة أنها تؤدي إلى مجاري بأبعاد كبيرة وبالتالي كلفة إنشائية أكبر, كما أنها تحتاج لبرنامج حاسوبي لتنفيذ هذه الطريقة.

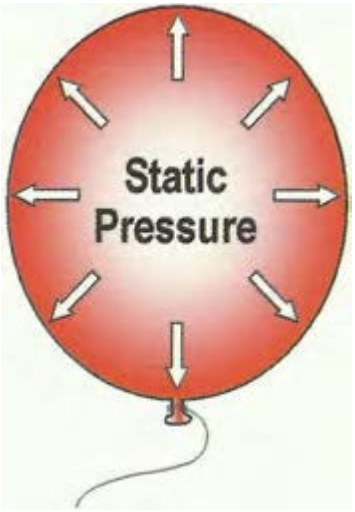
4.11. طرق أخرى:

يوجد العديد من طرق تصميم مجاري الهواء غير المذكورة سابقاً لكنها أقل استخداماً مثل طريقة السرعة المتناقصة Reduced Velocity وطريقة T-Method وطريقة السرعة الثابتة Constant Velocity.

12. هبوط الضغط في مجاري الهواء:

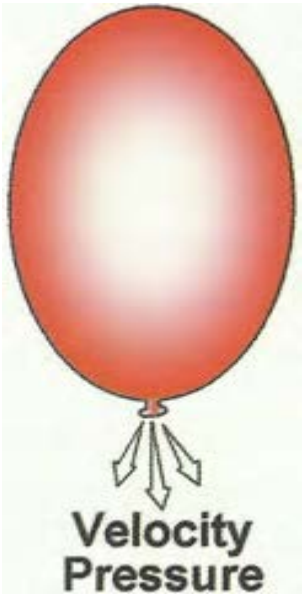
الضغط عبارة عن القوة المطبقة على واحدة المساحة في الاتجاه المعامد لسطح الجسم. وفي مجرى الهواء فإن الضغط عبارة عن مجموع مركبتين: الضغط الستاتيكي وضغط السرعة.

الضغط الستاتيكي متساوٍ في كل الاتجاهات وهو عمودي على سطح المجرى كما هو الحال في الضغط داخل بالون الموضح في الشكل 1.12.



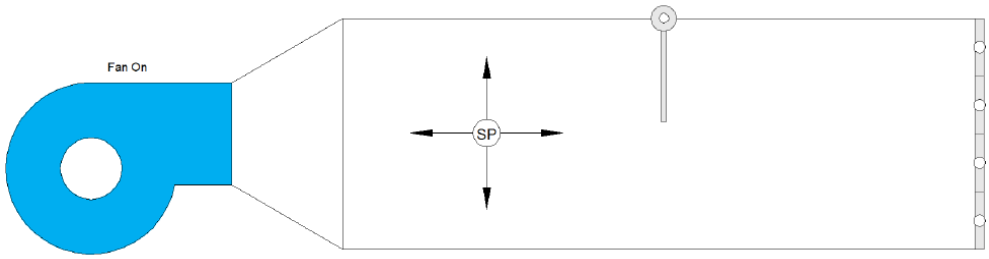
الشكل 1.12 الضغط الستاتيكي

ضغط السرعة ناتج عن حركة الهواء وهو باتجاه معين كالهواء الخارج من البالون المضغوط والموضح في الشكل 2.12.



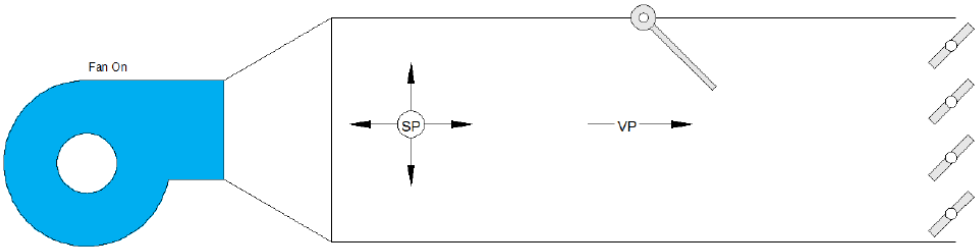
الشكل 2.12 ضغط الحركة

لفهم العلاقة بين الضغط الستاتيكي وضغط السرعة ضمن مجرى الهواء نفترض أنه تم تشغيل مروحة ضمن مجرى هواء في نهايته دامبر مغلق تماماً وتم تعليق صفيحة في أعلى المجرى, نلاحظ أن الصفيحة لن تميل بأي زاوية لأن جميع الضغط المتولد من المروحة عبارة عن ضغط ستاتيكي وهو متساوٍ في كل الاتجاهات وهذا الأمر موضح في الشكل 3.12:



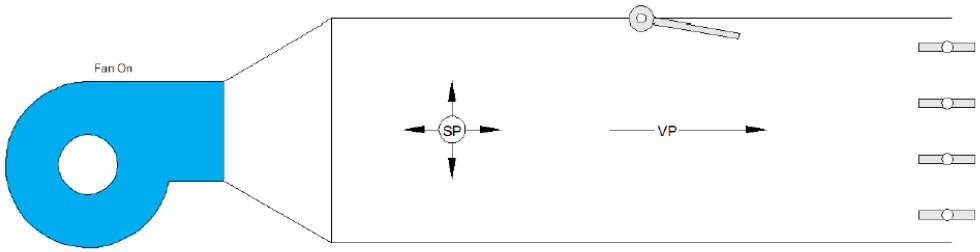
الشكل 3.12 الدامبر مغلق تماماً – كامل الضغط ستاتيكي

فإذا تم فتح الدامبر قليلاً فإن المجرى يتعرض لكل من الضغط الستاتيكي والضغط السرعة بحيث يؤثر ضغط السرعة بنفس اتجاه التدفق مما يؤدي إلى حرف الصفيحة بزاوية كما هو موضح في الشكل 4.12. وكلما زاد ضغط السرعة كلما زادت زاوية الانحراف. وهنا يكون لدينا الضغط الكلي يساوي مجموع الضغط الستاتيكي مع ضغط السرعة.



الشكل 4.12 الدامبر مفتوح جزئياً

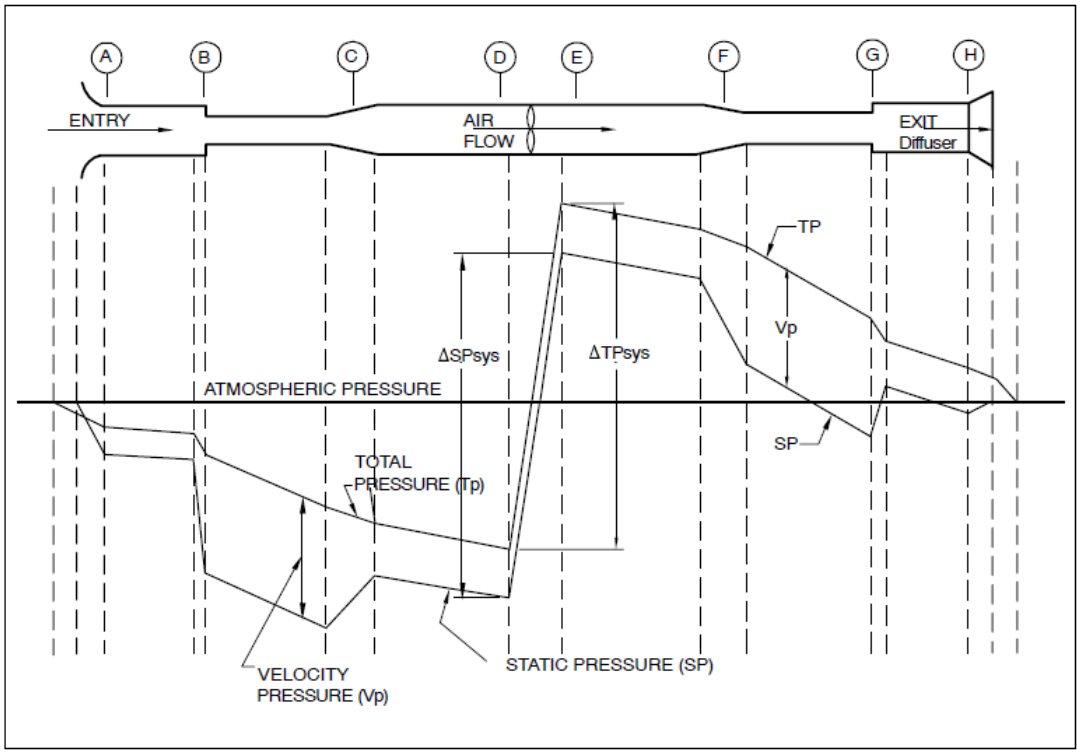
أما إذا تم فتح الدامبر تماماً وكان المجرى قصير جداً فإن الضغط الستاتيكي يقترب من الصفر ويصبح كامل الضغط تقريباً داخل المجرى عبارة عن ضغط سرعة وتنحرف الصفيحة بأكبر زاوية ممكنة كما هو موضح في الشكل 5.12.



الشكل 5.12 الدامبر مفتوح كاملاً – معظم الضغط سرعة

1.12. قانون بيرنولي Bernoulli Law:

اكتشف بيرنولي أنه كلما زادت السرعة فإن الضغط الستاتيكي ينخفض بنفس القيمة وهذا ما يجعل الضغط الكلي ثابتاً. والعكس صحيح حيث أن نقصان السرعة يؤدي إلى زيادة الضغط الستاتيكي, هذه الزيادة تدعى بالاستعادة الستاتيكية Static Regain. لكن عملياً فإن الضغط الكلي يتناقص مع اتجاه التدفق بسبب ضياعات الاحتكاك ضمن المجرى. والشكل 6.12 يبين المبدأ السابق.



الشكل 6.12 تغيرات قيمة الضغط ضمن مجرى الهواء

2.12. هبوط الضغط ضمن المجرى:

أثناء مرور الهواء ضمن المجرى فإنه يتعرض لعدد من العوائق مثل الأكواع والتحويلات والعديد من الوصلات. كما أن السطح الداخلي للمجرى يسبب احتكاكاً مع الهواء.

يتأثر هبوط الضغط ضمن المجرى بالعوامل التالية:

- سرعة الهواء.
- أبعاد المجرى وشكله.
- خشونة السطح الداخلي للمجرى.
- طول المجرى.

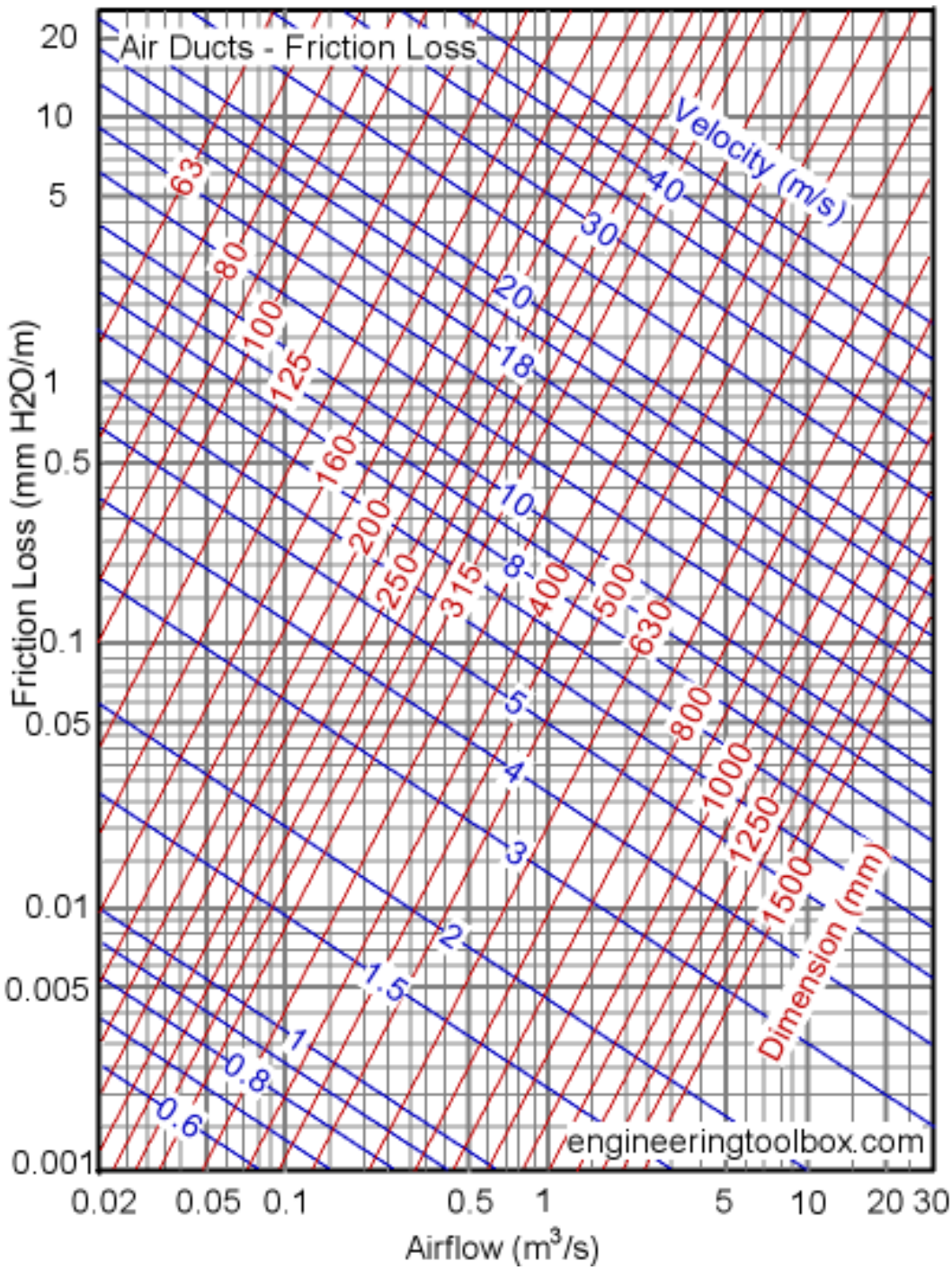
3.12. خطوات تصميم مجرى الهواء باستخدام طريقة الاحتكاك المتساوي:

يمكن تلخيص خطوات تصميم مجرى الهواء بالخطوات التالية:

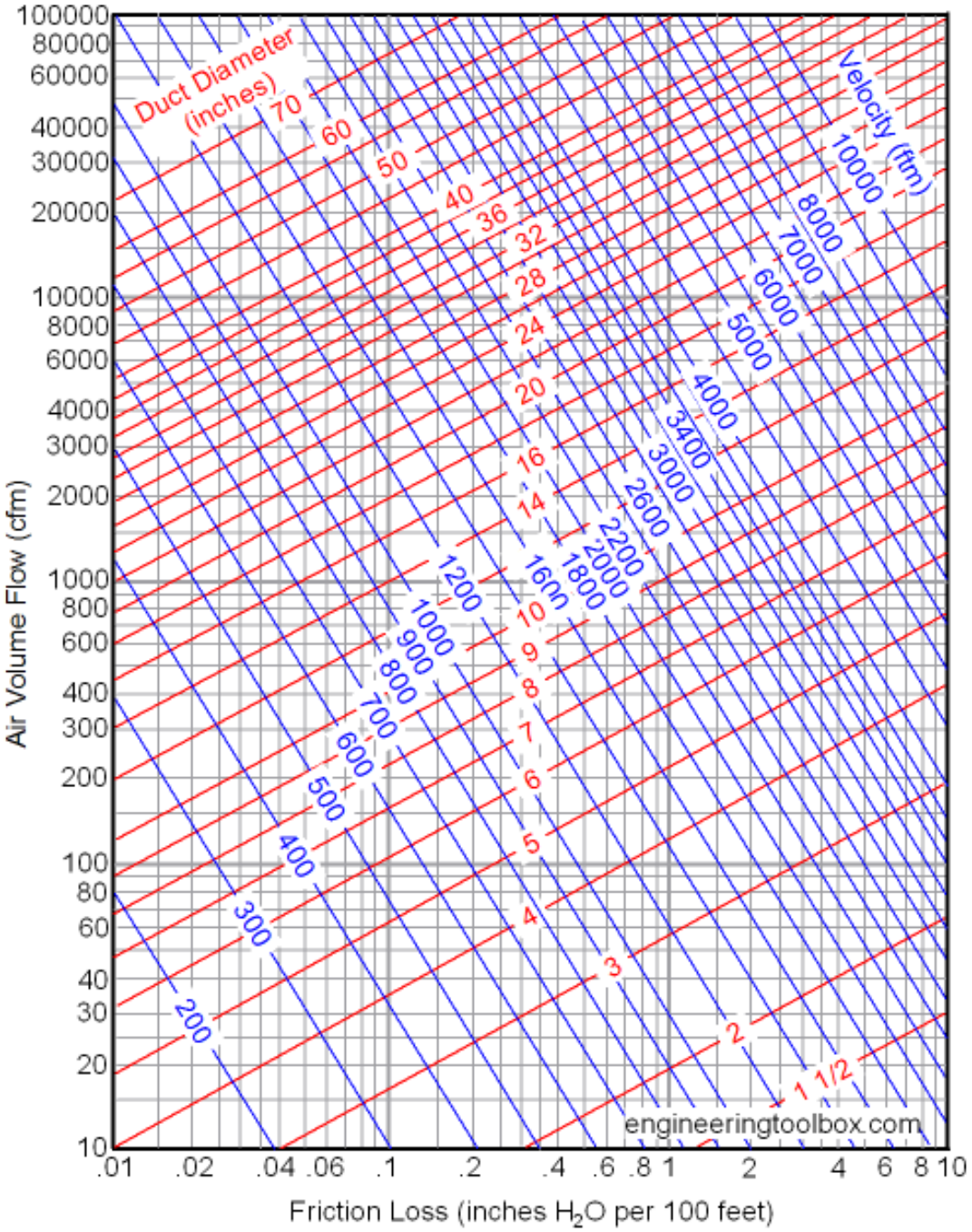
1- بعد تحديد تدفق كل فتحة يتم رسم المخطط المبدئي للمجرى Single Line Diagram ويتم حساب التدفقات التراكمية لجميع مقاطع المجرى Duct Sections .
2- يتم افتراض سرعة ابتدائية للهواء للمقطع الأول Root Section حسب الجدول 1.12.
3- يتم استخراج مقدار قطر المقطع ومعدل الاحتكاك للمقطع الأول من خلال التدفق والسرعة باستخدام المخطط الموضح في الشكل 7.12.أ أو 7.12.ب
4- في حال كان المقطع دائرياً يتم اعتماد القطر المحدد من المخطط, أما إن كان المقطع مستطيلاً فيتم افتراض قيمة البعد الأول ويتم حساب قيمة البعد الثاني للمستطيل من خلال الجدول 2.12.
5- بالنسبة للمقاطع التالية للمقطع الأول يتم حساب أبعادها من خلال تثبيت معدل الاحتكاك الذي تم حسابه في المقطع الأول

Application	Controlling factor: noise generation main ducts	Controlling factor: duct friction			
		Main ducts		Branch ducts	
		Supply	Return	Supply	Return
Residence	3 (600)	5 (1000)	4 (800)	3 (600)	3 (600)
Apartments Hotel bedrooms Hospital bedrooms	5 (1000)	7.5 (1500)	6.5 (1300)	6 (1200)	5 (1000)
Private offices Directors rooms Libraries	6 (1200)	10 (2000)	7.5 (1500)	8 (1600)	6 (1200)
Theatres Auditoriums	4 (800)	6.5 (1300)	5.5 (1100)	5 (1000)	4 (800)
General offices High class restaurants High class stores Banks	7.5 (1500)	10 (2000)	7.5 (1500)	8 (1600)	6 (1200)
Average store Cafeterias	9 (1800)	10 (2000)	7.5 (1500)	8 (1600)	6 (1200)
Industrial	12.5 (2500)	15 (3000)	9 (1800)	11 (2200)	7.5 (1500)

الجدول 1.12 سرعة الهواء العظمى الموصى بها **m/s (fpm)**



الشكل 7.12.أ مخطط الاحتكاك (واحدات دولية)



الشكل 7.12.ب مخطط الاحتكاك (واحدات بريطانية)

ملاحظات:

1- باعتبار تم تثبيت معدل الاحتكاك على طول مسار المجرى, فيجب أن تتناقص السرعة كلما قل معدل تدفق الهواء.

2- عند تغيير مقطع مجرى الهواء المستطيل فغالباً ما يتم تثبيت أحد الأبعاد وتغيير البعد الأخر بحيث يتم الاقتراب من نسبة 1:1, ولا فرق ما بين تثبيت ارتفاع المجرى أو عرضه.

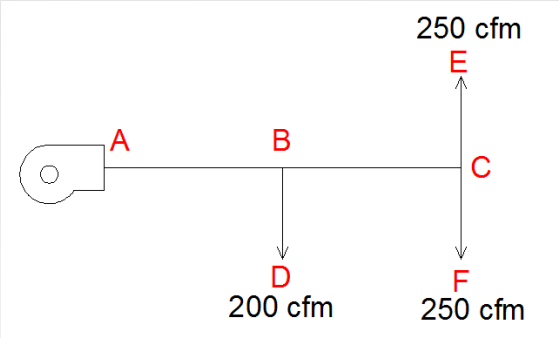
Side Rectan-gular Duct	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30
6	6.6																			
7	7.1	7.7																		
8	7.6	8.2	8.7																	
9	8.0	8.7	9.3	9.8																
10	8.4	9.1	9.8	10.4	10.9															
11	8.8	9.5	10.2	10.9	11.5	12.0														
12	9.1	9.9	10.7	11.3	12.0	12.6	13.1													
13	9.5	10.3	11.1	11.8	12.4	13.1	13.7	14.2												
14	9.8	10.7	11.5	12.2	12.9	13.5	14.2	14.7	15.3											
15	10.1	11.0	11.8	12.6	13.3	14.0	14.6	15.3	15.8	16.4										
16	10.4	11.3	12.2	13.0	13.7	14.4	15.1	15.7	16.4	16.9	17.5									
17	10.7	11.6	12.5	13.4	14.1	14.9	15.6	16.2	16.8	17.4	18.0	18.6								
18	11.0	11.9	12.9	13.7	14.5	15.3	16.0	16.7	17.3	17.9	18.5	19.1	19.7							
19	11.2	12.2	13.2	14.1	14.9	15.7	16.4	17.1	17.8	18.4	19.0	19.6	20.2	20.8						
20	11.5	12.5	13.5	14.4	15.2	16.0	16.8	17.5	18.2	18.9	19.5	20.1	20.7	21.3	21.9					
22	12.0	13.0	14.1	15.0	15.9	16.8	17.6	18.3	19.1	19.8	20.4	21.1	21.7	22.3	22.9	24.0				
24	12.4	13.5	14.6	15.6	16.5	17.4	18.3	19.1	19.9	20.6	21.3	22.0	22.7	23.3	23.9	25.1	26.2			
26	12.8	14.0	15.1	16.2	17.1	18.1	19.0	19.8	20.6	214	22.1	22.9	23.5	24.2	24.9	26.1	27.3	28.4		
28	13.2	14.5	15.6	16.7	17.7	18.7	19.6	20.5	21.3	22.1	22.9	23.7	24.4	25.1	25.8	27.1	28.3	29.5	30.6	
30	13.6	14.9	16.1	17.2	18.3	19.3	20.2	21.1	22.0	22.9	23.7	24.4	25.2	25.9	26.6	28.0	29.3	30.5	31.7	32.8
32	14.0	15.3	16.5	17.7	18.8	19.8	20.8	21.8	22.7	23.5	24.4	25.2	26.0	26.7	27.5	28.9	30.2	31.5	32.7	33.9
34	14.4	15.7	17.0	18.2	19.3	20.4	21.4	22.4	23.3	24.2	25.1	25.9	26.7	27.5	28.3	29.7	31.0	32.4	33.7	34.9
36	14.7	16.1	17.4	18.6	19.8	20.9	21.9	22.9	23.9	24.8	25.7	26.6	27.4	28.2	29.0	30.5	32.0	33.3	34.6	35.9
38	15.0	16.5	17.8	19.0	20.2	21.4	22.4	23.5	24.5	25.4	26.4	27.2	28.1	28.9	29.8	31.3	32.8	34.2	35.6	36.8
40	15.3	16.8	18.2	19.5	20.7	21.8	22.9	24.0	25.0	26.0	27.0	27.9	28.8	29.6	30.5	32.1	33.6	35.1	36.4	37.8
42	15.6	17.1	18.5	19.9	21.1	22.3	23.4	24.5	25.6	26.6	27.6	28.5	29.4	30.3	31.2	32.8	34.4	35.9	37.3	38.7
44	15.9	17.5	18.9	20.3	21.5	22.7	23.9	25.0	26.1	27.1	28.1	29.1	30.0	30.9	31.8	33.5	35.1	36.7	38.1	39.5
46	16.2	17.8	19.3	20.6	21.9	23.2	24.4	25.5	26.6	27.7	28.7	29.7	30.6	31.6	32.5	34.2	35.9	37.4	38.9	40.4
48	16.5	18.1	19.6	21.0	22.3	23.6	24.8	26.0	27.1	28.2	29.2	30.2	31.2	32.2	33.1	34.9	36.6	38.2	39.7	41.2
50	16.8	18.4	19.9	21.4	22.7	24.0	25.2	26.4	27.6	28.7	29.8	30.8	31.8	32.8	33.7	35.5	37.2	38.9	40.5	42.0
52	17.1	18.7	20.2	21.7	23.1	24.4	25.7	26.9	28.0	29.2	30.3	31.3	32.3	33.3	34.3	36.2	37.9	39.6	41.2	42.8
54	17.3	19.0	20.6	22.0	23.5	24.8	26.1	27.3	28.5	29.7	30.8	31.8	32.9	33.9	34.9	36.8	38.6	40.3	41.9	43.5

الجدول 2.12.أ أبعاد المقطع المستطيل المكافئ للدائري (واحدات بريطانية)

Side Rectan-gular-Duct	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	900
100	109																			
125	122	137																		
150	133	150	164																	
175	143	161	177	191																
200	152	172	189	204	219															
225	161	181	200	216	232	246														
250	169	190	210	228	244	259	273													
275	176	199	220	238	256	272	287	301												
300	183	207	229	248	266	283	299	314	328											
350	195	222	245	267	286	305	322	339	354	383										
400	207	235	260	283	305	325	343	361	378	409	437									
450	217	247	274	299	321	343	363	382	400	433	464	492								
500	227	258	287	313	337	360	381	401	420	455	488	518	547							
550	236	269	299	326	352	375	398	419	439	477	511	543	573	601						
600	245	279	310	339	365	390	414	436	457	496	533	567	598	628	656					
650	253	289	321	351	378	404	429	452	474	515	553	589	622	653	683	711				
700	261	298	331	362	391	418	443	467	490	533	573	610	644	677	708	737	765			
750	268	306	341	373	402	430	457	482	506	550	592	630	666	700	732	763	792	820		
800	275	314	350	383	414	442	470	496	520	567	609	649	687	722	755	787	818	847	875	
900	289	330	367	402	435	465	494	522	548	597	643	686	726	763	799	833	866	897	927	984
1000	301	344	384	420	454	486	517	546	574	626	674	719	762	802	840	876	911	941	976	1037
1100	313	358	399	437	473	506	538	569	598	652	703	751	795	838	878	916	953	988	1022	1086
1200	324	370	413	453	490	525	558	590	620	677	731	780	827	872	914	954	993	1030	1066	1133
1300	334	382	426	468	506	543	577	610	642	701	757	808	857	904	948	990	1031	1069	1107	1177
1400	344	394	439	482	522	559	595	629	662	724	781	835	886	934	980	1024	1066	1077	1146	1220
1500	353	404	452	495	536	575	612	648	681	745	805	860	913	963	1011	1057	1100	1143	1183	1260
1600	362	415	463	508	551	591	629	665	700	766	827	885	939	991	1041	1088	1133	1177	1219	1298
1700	371	425	475	521	564	605	644	682	718	785	849	908	964	1018	1069	1118	1164	1209	1253	1335
1800	379	434	485	533	577	619	660	698	735	804	869	930	988	1043	1096	1146	1195	1241	1286	1371
1900	387	444	496	544	590	633	674	713	751	823	889	952	1012	1068	1122	1174	1224	1271	1318	1405
2000	395	453	506	555	602	646	688	728	767	840	908	973	1034	1092	1147	1200	1252	1301	1348	1438
2100	402	461	516	566	614	659	702	743	782	857	927	993	1055	1115	1172	1226	1279	1329	1378	1470
2200	410	470	525	577	625	671	715	757	797	874	945	1013	1076	1137	1195	1251	1305	1356	1406	1501
2300	417	478	534	587	636	683	728	771	812	890	963	1031	1097	1159	1218	1275	1330	1383	1434	1532
2400	424	486	543	597	647	695	740	784	826	905	980	1050	1116	1180	1241	1299	1355	1409	1461	1561

الجدول 2.12.ب أبعاد المقطع المستطيل المكافئ للدائري (واحدات مترية)

مثال 1.12: لدينا النظام الموضح في الشكل والمطلوب حساب أبعاد المجرى باستخدام طريقة الاحتكاك المتساوي علماً أن هذا النظام سيتم تركيبه في قاعة محاضرات.



نقوم في البداية بترميز المقاطع وحساب تدفقات جميع المقاطع الموجودة في النظام وصولاً إلى المقطع الجذري Root section ونلاحظ أن تدفق المقطع AB يساوي 700 cfm.

باعتبار أن مكان التركيب عبارة عن قاعة محاضرات إذاً السرعة المسموح بها حسب الجدول 1.12 هي 800 fpm.

من خلال الجدول 7.12-ب نلاحظ أن تقاطع التدفق 700 cfm مع السرعة 800 fpm يعطي معدل احتكاك 0.08 in_{wg}/100 ft وقطر 12.7 inch

بفرض أن الارتفاع المتاح للمجرى هو 8 inch نجد من خلال الجدول 2.12-أ أن عرض المجرى بعد تدوير الرقم للأعلى يساوي 18 inch وهي قيمة مقبولة باعتبار أن النسبة الباعية تساوي 18/8=2.25 وهذه النسبة مقبولة.

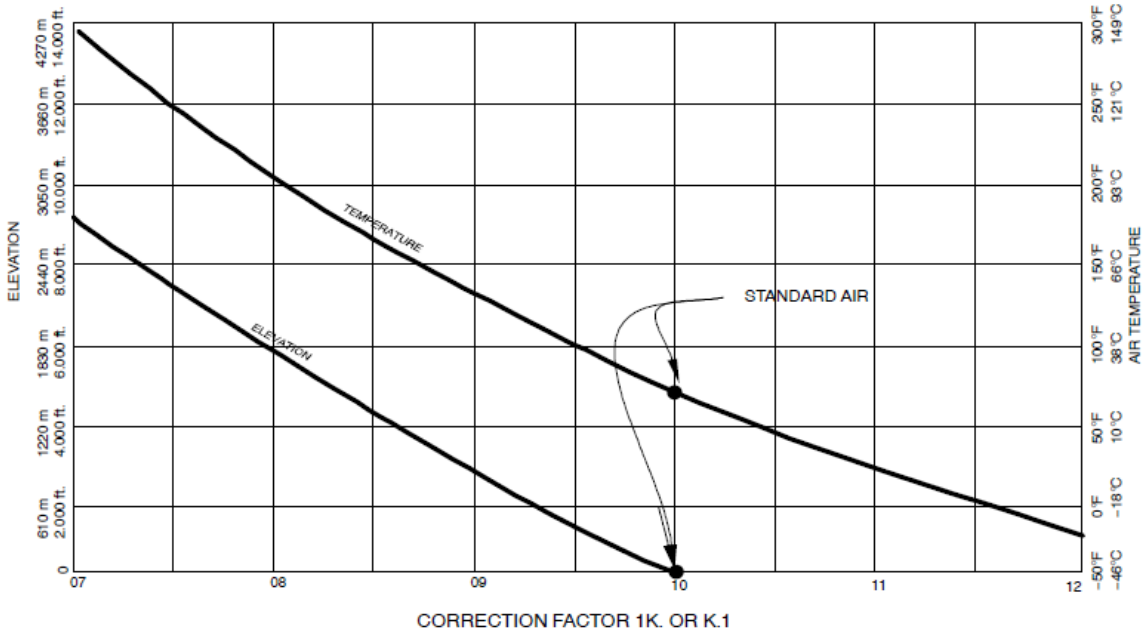
نقوم بتثبيت معدل الاحتكاك المحسوب على باقي المقاطع ونحسب أبعاد كل مقطع بنفس الطريقة باستخدام التدفق ومعدل الاحتكاك ونسجل البيانات كما هو موضح في الجدول 3.

Section	Air flow cfm	Velocity fpm	Pressure rate In_{wg}/100 ft	Eq. Diameter inch	B x H In x In
AB	700	800	0.08	12.7	18 x 8
BC	500	740	0.08	11.1	14 x 18
BE	200	590	0.08	7.9	8 x 8
CE	250	620	0.08	8.6	8 x 8
CF	250	620	0.08	8.6	8 x 8

فعلياً فإن معدل الاحتكاك ليس ثابتاً نتيجة تدوير أبعاد المقطع بحيث تكون من مضاعفات 2 inch (5 cm) كما أن هناك عوامل تصحيح يجب إضافتها لمعدل الاحتكاك نتيجة الارتفاع عن سطح البحر ودرجة حرارة الهواء وخشونة السطح الداخلي للمجرى.

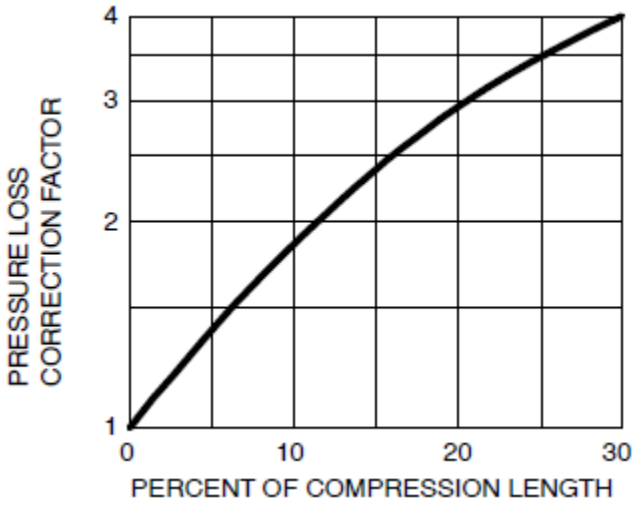
4.12. عوامل تصحيح هبوط الضغط:

إن المخططات والجداول الموضحة سابقاً هي عند الشروط النظامية أي عند ارتفاع مستوى سطح البحر ودرجة حرارة 68 °F (20 °C). الشكل 8.12 يبين عامل التصحيح حسب الارتفاع عن سطح البحر ودرجة حرارة الهواء داخل المجرى.



الشكل 8.12 عامل التصحيح للارتفاع عن سطح البحر ودرجة حرارة الهواء

كما أن هناك عامل تصحيح يتم تطبيقه على المجرى المرن Flexible في حال كان غير متمدد بالكامل. ويمكن الحصول على قيمة هذا العامل من الشكل 9.12



الشكل 9.12 عامل تصحيح انضغاط المجرى المرن

أما العامل الأهم الذي يؤثر على معدل الاحتكاك فهو خشونة السطح الداخلي للمجرى حسب مادة المجرى. وقد تم تصنيف الخشونة إلى 5 مستويات هي:

- ناعم Smooth: مثل مواد الـ PVC أو Stainless Steel أو الألمنيوم
- متوسط النعومة Medium Smooth: مثل مجاري GI المستطيلة التي يفصل بين وصلاتها العرضانية 4 ft (1.2 m) أو الدائرية التي يفصل بين وصلاتها العرضانية 12 ft (3.6 m)
- متوسط Average: مثل مجاري GI التي يفصل بين وصلاتها العرضانية 2.5 ft (0.76 m)
- متوسط الخشونة Medium Rough: في حال تركيب عزل داخلي للمجرى من الفايبر جلاس
- خشن Rough: عند استخدام مجاري مرنة Flexible.

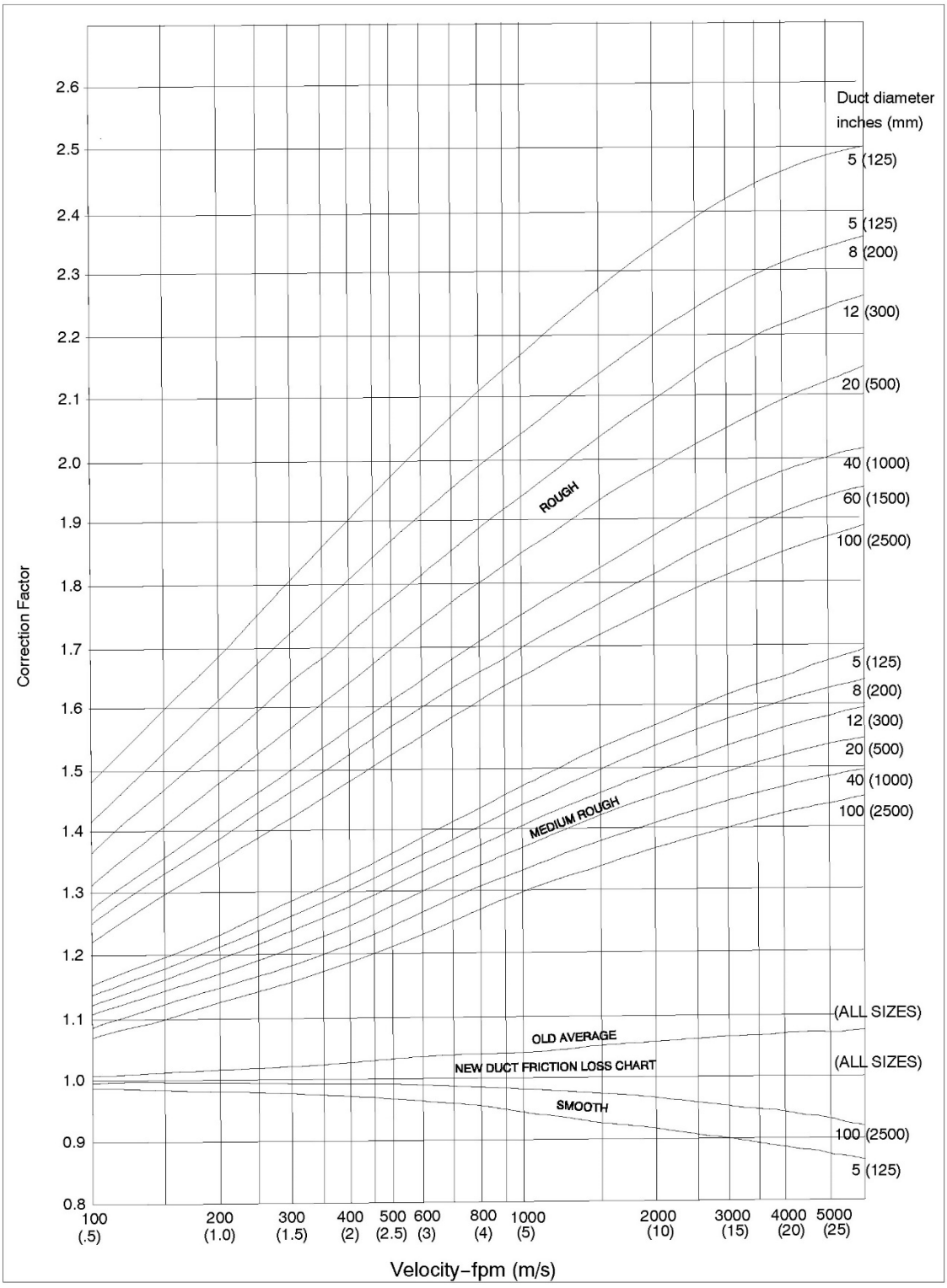
والجدول 3.12 يبين تصنيف خشونة السطح الداخلي للمجرى[1]

Duct Material	Roughness Category	Absolute Roughness ε_1	
		ft	mm
Uncoated carbon steel, clean (Moody 1944) (0.00015 ft) (0.05 mm) PVC plastic pipe (Swim 1982) (0.0003 to 0.00015 ft) (0.01 to 0.05 mm) Aluminum (Hutchinson 1953) (0.00015 to 0.0002 ft) (0.04 to 0.06 mm)	Smooth	0.0001	0.03
Galvanized steel, longitudinal seams, 4 ft (1200 mm) joints (Griggs 1987) (0.00016 to 0.00032 ft) (0.05 to 0.1 mm)	Medium Smooth	0.0003	0.09
Galvanized steel, spiral seam with 1, 2, and 3ribs, 12 ft (3600 mm) joints (Jones 1979, Griggs 1987) (0.00018 to 0.00038 ft) (0.05 to 0.12 mm)	(New Duct Friction Loss Chart)		
Hot-dipped galvanized steel, longitudinal seams, 2.5ft (760 mm) joints (Wright 1945) (0.0005 ft) (0.15 mm)	Old Average	0.0005	0.15
Fibrous glass duct, rigid Fibrous glass duct liner, air side with facing material (Swim 1978) (0.005 ft) (1.5 mm)	Medium Rough	0.003	0.9
Fibrous glass duct liner, air side spray coated (Swim 1978) (0.015 ft) (4.5 mm) Flexible duct, metallic, (0.004 to 0.007 ft (1.2 to 2.1 mm) when fully extended) Flexible duct, all types of fabric and wire (0.0035 to 0.015 ft (1.0 to 4.6 mm) when fully extended) Concrete (Moody 1944) (0.001 to 0.01 ft) (0.3 to 3.0 mm)	Rough	0.01	3.0

الجدول 3.12 تصنيف خشونة السطح الداخلي لمجرى

أما الشكل 10.12 فإنه يوضح عامل التصحيح اللازم تطبيقه على معدل الاحتكاك حسب خشونة السطح الداخلي للمجرى ووفقاً لسرعة الهواء داخل المجرى وقطر المجرى.

[1] *SMACNA HVAC Systems Duct Design 4th Edition*

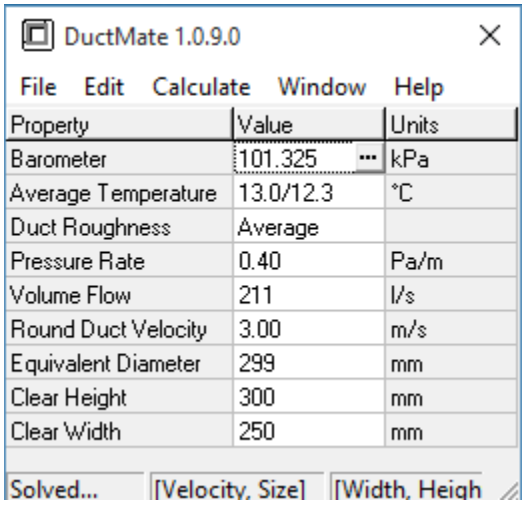


الشكل 10.12 عامل تصحيح خشونة السطح الداخلي

13. برنامج Ductmate:

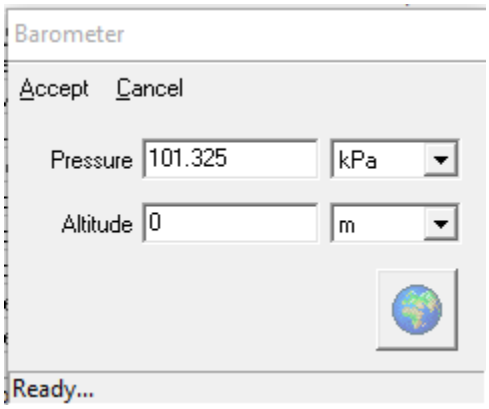
يعتبر برنامج Ductmate من أبسط البرامج الخاصة بتصميم مجاري الهواء وفي نفس الوقت يتميز بالدقة لأنه يطبق عوامل التصحيح على معدل الاحتكاك والتي تكلمنا عنها سابقاً.

واجهة البرنامج البسيطة موضحة بالشكل 1.13 حيث يمكن تغيير الواحدات من خلال القائمة Calculate ثم من الخيار Units يتم الاختيار بين الواحدات المترية أو البريطانية.



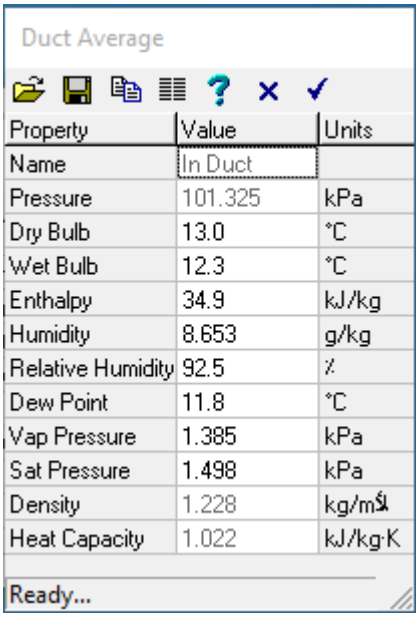
الشكل 1.13 واجهة برنامج Ductmate

ثم يتم تحديد قيمة الضغط الجوي ضمن الحقل Barometer, أو يمكن النقر على النقاط على يمين الحقل فتظهر نافذة تحديد الارتفاع عن سطح البحر كما هو موضح في الشكل 13 حيث تحديد الارتفاع عن سطح البحر ضمن الحقل Altitude أو يمكن النقر على زر الكرة الأرضية واختيار المدينة من القائمة المنسدلة فيقوم البرنامج بتحديد الارتفاع تلقائياً وبالتالي تحديد الضغط الجوي ثم ننقر على Accept للعودة إلى الواجهة الرئيسية.



الشكل 2.13 نافذة تحديد الارتفاع عن سطح البحر أو الضغط الجوي

ثم من خلال الحقل Average Temperature يتم تحديد درجتي الحرارة الجافة والرطبة الوسطيتين للهواء الماء ضمن المجرى أو يمكن النقر على النقاط على يمين الحقل فتظهر نافذة السايكرومتري كما هو موضح في الشكل 3.13 حيث نقوم بتحديد قيمتين فقط ليقوم البرنامج بحساب باقي القيم ثم ننقر على ✓ للعودة إلى الواجهة الرئيسية.



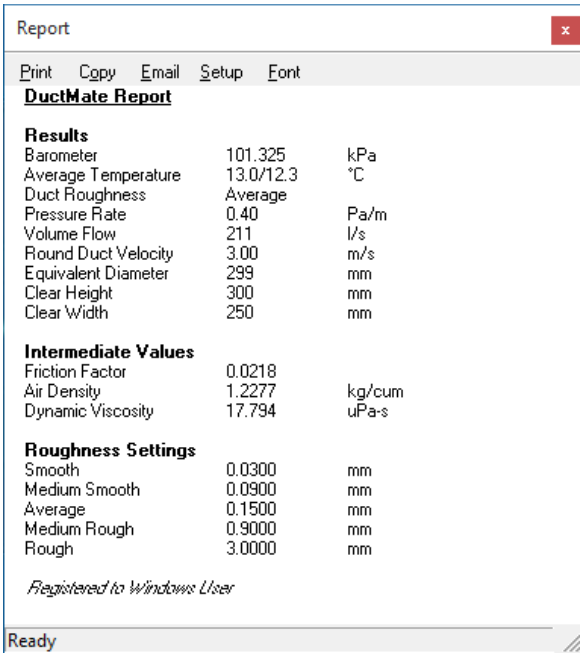
الشكل 3.13 نافذة السايكرومتري

ضمن الواجهة الرئيسية يتم تحديد صنف خشونة السطح الداخلي من خلال القائمة المنسدلة Duct Roughness علماً أنه يمكن تغيير قيم الخشونة من خلال القائمة Calculate والأمر Roughness Settings ثم يتم تحديد المتغيرات المطلوبة التالية:

- معدل الاحتكاك ضمن الحقل Pressure Rate
- تدفق الهواء ضمن الحقل Volume Flow
- السرعة ضمن الحقل Round Duct Velocity
- القطر المكافئ ضمن الحقل Equivalent Velocity
- ارتفاع المجرى ضمن الحقل Clear Height
- عرض المجرى ضمن الحقل Clear Width

يكفي طبعاً تحديد قيمتين فقط من القيم السابقة ليقوم البرنامج بحساب باقي القيم المطلوبة, علماً أنه بإمكانك تغيير الواحدة لقيمة معينة بالنقر بالزر الأيمن للفأرة على الواحدة نفسها الموجودة على يمين الحقل وتحديد الواحدة المطلوبة.

كما يمكنك توليد تقرير بسيط للقيم المدخلة ليظهر كما هو واضح في الشكل 4.13 وطباعة هذا التقرير باستخدام الأمر Print.



الشكل 4.13 تقرير البرنامج

14. حساب هبوط الضغط:

لحساب هبوط الضغط ضمن المجرى واللازم تأمينه من قبل المروحة يجب أولاً تحديد جميع المسارات الممكنة في النظام ومن ثم دراسة هبوط الضغط لكل مسار ومن ثم تحديد المسار الأسوأ Critical Path على أساس أعلى قيمة هبوط ضغط بينها.

يقسم هبوط الضغط إلى ثلاثة أنواع:

1. هبوط الضغط الطولاني نتيجة احتكاك الهواء بجدران المجرى, ويمكن حسابه من خلال ضرب قيمة معدل الاحتكاك للمجرى بطول المجرى.
2. هبوط الضغط ضمن الوصلات Fittings وتحسب من المعادلة:

$$\Delta P = C \times VP$$

ΔP- مقدار هبوط الضغط ضمن الوصلة, in_{wg} [Pa]

C- ثابت هبوط الضغط للوصلة وهو مقدار لابعدي نحصل عليه من جداول الملحق A للمرجع SMACNA HVAC System Design أو من الفصل F21 Duct Design للمرجع ASHRAE 2009 Fundamentals وذلك حسب نوع الوصلة.

V_P- ضغط السرعة, ويعطى بالعلاقة:

$$V_P = \rho V^2 / 2$$

V- سرعة الهواء, fpm [m/s]

ρ- كثافة الهواء, وعند الشروط النظامية تساوي $0.075\ lb/ft^3$ [$1.204\ Kg/m^3$] وبالتالي:

$$V_P = 0.602\ V^2 \qquad (SI)$$

$$V_P = (V/4005)^2 \qquad (IP)$$

3. هبوط الضغط نتيجة التجهيزات مثل الدامبر وفتحة الإرسال والفلاتر وغيره. وهذا النوع من هبوط الضغط نحصل عليه من خلال الكتالوجات.

15. برنامج ASHRAE Duct Fittings Database:

يسمح هذا البرنامج بتقدير هبوط الضغط للوصلات المستخدمة في مجاري الهواء.

من القائمة Utility الأمر Preferences نقوم بتحديد مواصفات المشروع ضمن التبويب Name ومن التبويب Units نختار نظام الواحدات المستخدمة.

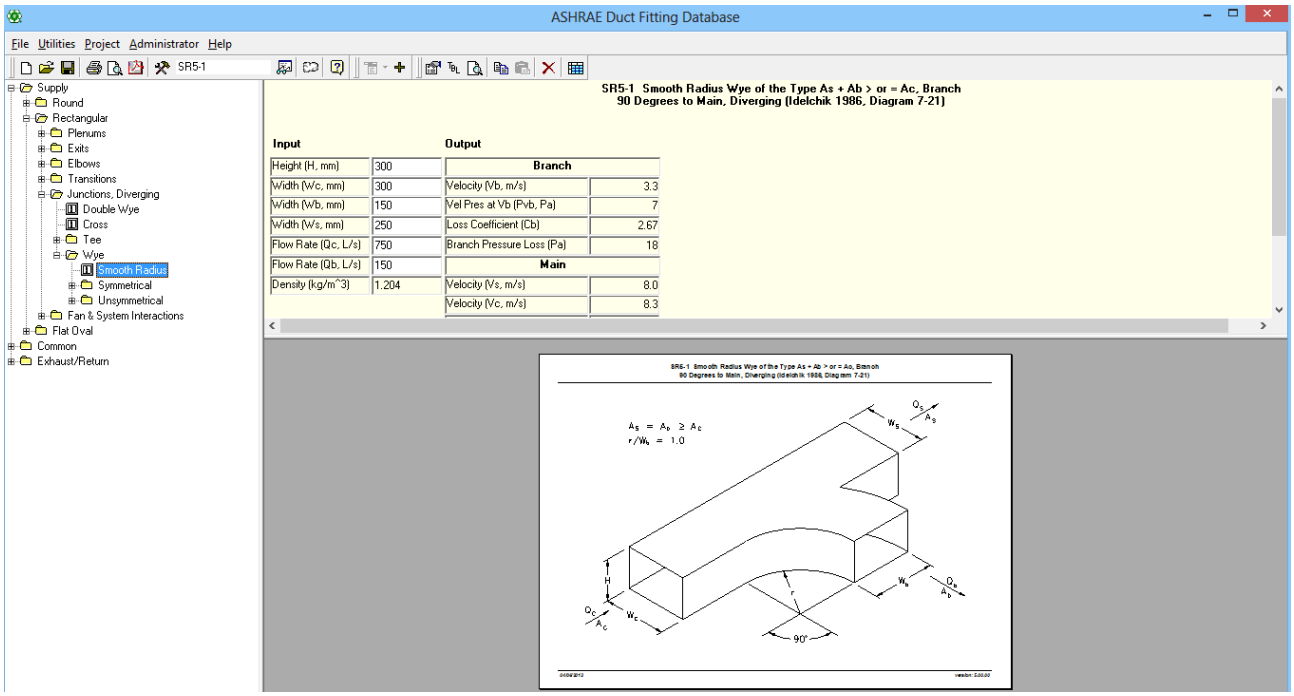
ومن القائمة Utility الأمر Air Properties نحدد درجة حرارة الهواء والارتفاع عن سطح البحر والتي بدورها تؤثر على كثافة الهواء.

بعد أن نحدد الوصلة من القائمة الشجرية الموجودة يسار لوحة البرنامج نقوم بتحديد شكل الوصلة (دائري, مستطيل أو بيضوي) ونوع الوصلة (كوع, تفريعة, نقاصة أو غيره) ثم تحديد شكل الوصلة بدقة,ثم نقوم بتحديد بيانات الإدخال ضمن الجدول Input ثم ننقر على الأمر Calculate فيقوم البرنامج بحساب النتائج والتي تشمل السرعة وضغط السرعة وعامل الاحتكاك وهبوط الضغط لهذه الوصلة.

بعد الانتهاء من تعريف الوصلة يمكن إضافة وصلة ثانية للمشروع باستخدام الأمر Add Fitting to Project أو من خلال القائمة Project الأمر Add fitting.

يمكن الاطلاع على جميع الوصلات التي تم إضافتها من خلال الأمر View Project Records.

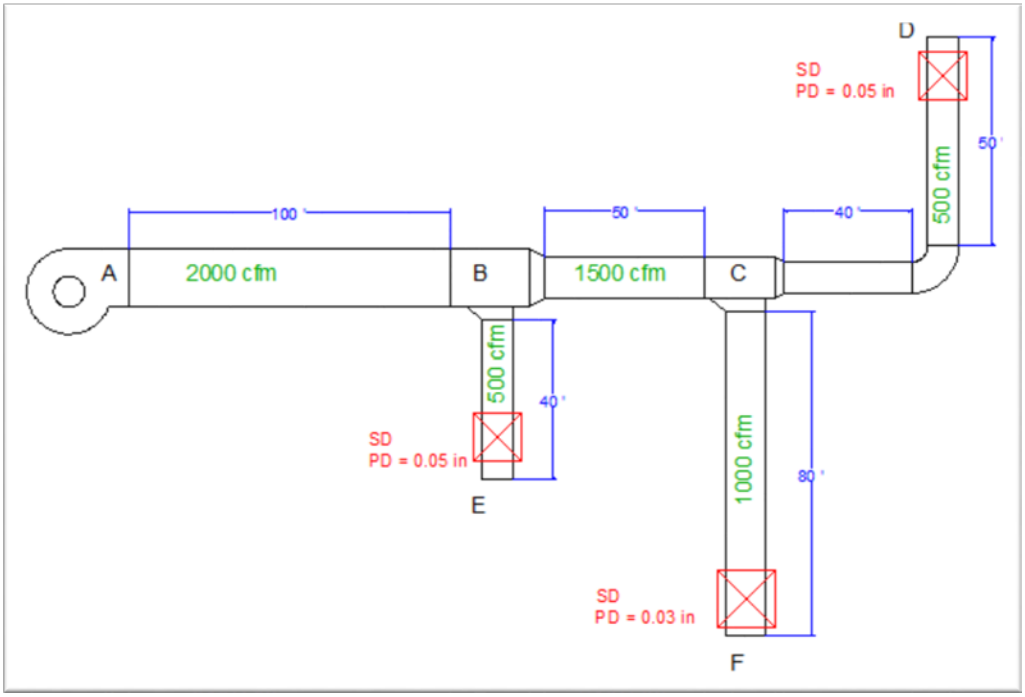
كما يمكن توليد تقرير بالوصلة على شكل ملف pdf باستخدام الأمر Create pdf File.



الشكل 1.15 واجهة البرنامج

16. مثال محلول بالطريقة اليدوية لتصميم مجرى الهواء باستخدام طريقة الاحتكاك المتساوي:

لدينا نظام مجرى دائري المقطع كما هو موضح بالشكل 1.16 والمطلوب حساب أبعاد المقاطع وهبوط الضغط اللازم للمروحة. علماً أن هذا النظام يقع ضمن مكتب.



الشكل 1.16 نظام مجرى هواء دائري

الحل:

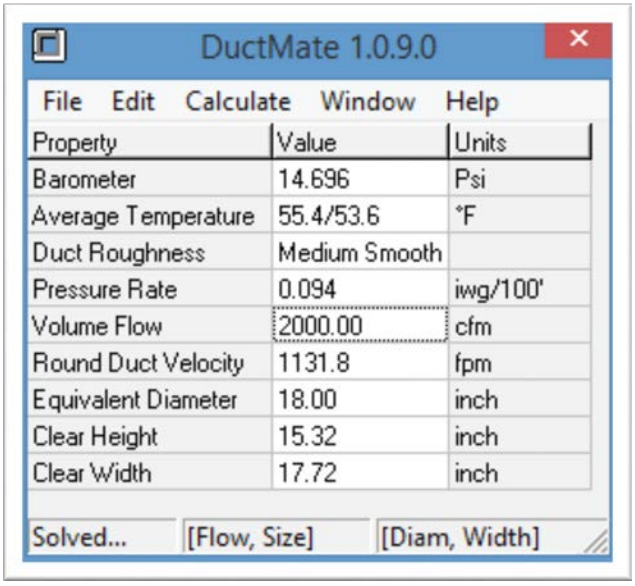
- في البداية نقوم بتنظيم جدول كما هو موضح في الشكل 2.16
- نقوم بضبط البارامترات الأولية في برنامج Ductmate مثل الارتفاع عن سطح البحر (وليكن الارتفاع 0 م) ودرجة حرارة هواء الإرسال (ولتكن 13 مئوية) وخشونة السطح الداخلي للدكت (سنختار Medium smooth)

Section	Item	Air Flow [cfm]	Air Velocity [fpm]	Diameter [inch]	Friction Rate [Inch/100']	Duct Length [ft]	Pressure Drop [inch]

الشكل 2.16

المقطع AB

نفترض السرعة الابتدائية في المقطع الأول 1200 fpm باعتبار أن النظام يقع في مكتب. ثم باستخدام برنامج Ductmate عند التدفق 2000 cfm وسرعة هواء 1200 fpm نجد أن القطر هو 17.48 in ومعدل هبوط الضغط 0.109 in/100’ وباعتبار أن هذا القطر لا يتوفر في السوق لذلك نختار القطر الأكبر أي 18” وبالتالي ستصبح السرعة 1132 fpm ومعدل هبوط الضغط الحقيقي 0.094 in/100’ كما هو موضح في الشكل 3.16 ونسجل هذه النتائج في الجدول كما هو في الشكل 4.16 ونلاحظ أن هبوط الضغط لهذا المقطع 0.094 in



الشكل 3.16 حل المقطع AB

Section	Item	Air Flow [cfm]	Air Velocity [fpm]	Diameter [inch]	Friction Rate [Inch/100']	Duct Length [ft]	Pressure Drop [inch]
AB	Duct	2000	1130	18	0.094	100	0.094

الشكل 4.16

المقطع BC

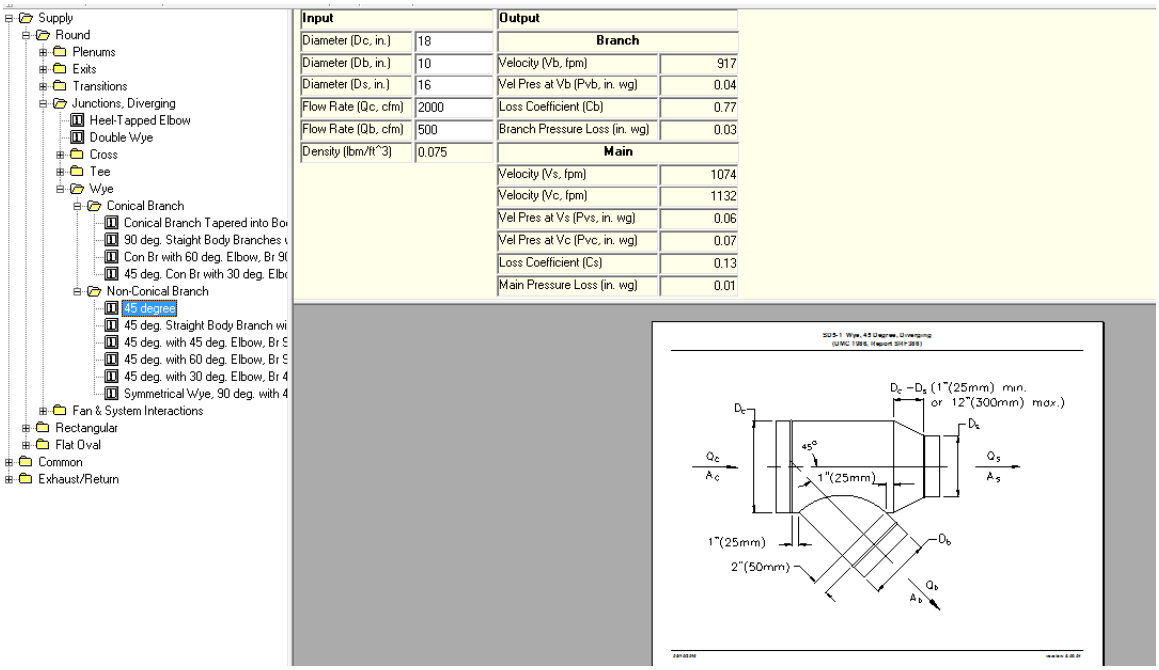
باعتبار أن الطريقة المستخدمة في حساب أبعاد الدكت هي طريقة الاحتكاك المتساوي لذلك نقوم بتثبيت معدل الاحتكاك 0.109 in/100' على كامل المقاطع التالية. لذلك نجد أن المقطع BC لديه تدفق 1500 cfm فيكون القطر 15.67 in لكننا نختار القطر 16 in فيكون معدل الاحتكاك الحقيقي 0.098 in/100' وهبوط الضغط لهذا المقطع هو 0.049 in

المقطع BE

تدفق الهواء في هذا المقطع 500 cfm لذلك عند معدل احتكاك 0.109 in/100' نلاحظ أن القطر المطلوب 10.37 in وسنختار القطر الأصغر 10 in. والسبب في اختيار القطر الأصغر وليس الأكبر في هذه الحالة هو أن المسار ABE قريب من المروحة وبالتالي سيكون هبوط الضغط لهذا المسار أقل بشكل ملحوظ بالمقارنة مع المسار ABCD لذلك عوضاً عن أن نقوم بتكبير القطر وبالتالي تخفيض معدل هبوط الضغط سنقوم بتصغير القطر لكي يزداد معنا معدل هبوط الضغط وبالتالي نحاول بطريقة ما موازنة المسارات المختلفة دون استخدام الدامبر. وبعد تعديل القطر نلاحظ أن معدل الاحتكاك الحقيقي هو 0.13 in/100' وهبوط الضغط للمقطع 0.052 in

التفريعة Tee B:

وهنا سنقوم بحساب هبوط الضغط لهذه التفريعة باستخدام البرنامج ASHRAE Duct Fittings Database بإدخال البيانات كما هو مبين في الشكل 5.16 وذلك بعد اختيار الوصلة SD5-1



الشكل 5.16 حل التفريعة Tee B

نلاحظ أن هبوط الضغط للوصلة من الطرف الرئيسي هو 0.01 in ومن الطرف الفرعي 0.03 in وهذا يعني أن الهواء المار من المسار ABC سيهبط بمقدار 0.01 in عند مروره بهذه الوصلة, بينما المسار ABE سيهبط بمقدار 0.03 in لنفس الوصلة.

المقطع CD

بنفس الطريقة السابقة وعند التدفق 500 cfm نلاحظ أن القطر المطلوب هو 10.37 in لذلك سنختار القطر الأكبر أي 12 in على عكس ما تم اختياره في المقطع BE لأن المسار ABCD أسوأ من المسار ABE لذلك من الأفضل تخفيض هبوط الضغط ضمن هذا المسار ويتم ذلك بتكبير القطر. وعند هذا القطر سيكون معدل الاحتكاك الحقيقي 0.053 in/100' وهبوط الضغط 0.048 in

المقطع CF

تدفق هذا المقطع هو 1000 cfm لذلك نجد أن القطر المحسوب هو 13.45 in لذلك سنختار القطر 14 in وعندها يصبح معدل الاحتكاك الحقيقي 0.09 in/100' وهبوط الضغط لهذا المقطع هو 0.072 in.

التفريعة Tee C:

بنفس الطريقة التي تم فيها حساب التفريعة B وباختيار نفس شكل التفريعة SD5-1 نلاحظ أن هبوط الضغط للوصلة من الطرف الرئيسي هو 0.0 in (أي لا يوجد هبوط للضغط) ومن الطرف الفرعي 0.02 in

الكوع:

باستخدام البرنامج ASHRAE Duct Fittings Database ومن خلال الوصلة CD3-21 نلاحظ أن هبوط الضغط للكوع هو 0.01 in

بعد الانتهاء من الحسابات نجد أن النتائج تكون كما هو موضح في الشكل 6.16

حساب هبوط الضغط للمسارات المحتملة:

لحساب هبوط الضغط لكل مسار نقوم بجمع هبوط الضغط الطولاني مع هبوط الضغط للوصلات بالإضافة لهبوط الضغط لفتحة الإرسال والتي تم استخراجها من الكتالوج, لذلك نجد:

$$Path_{ABCD} = 0.094 + 0.049 + 0.048 + 0.01 + 0.0 + 0.01 + 0.05$$

$$\mathbf{Path_{ABCD} = 0.261\ in}$$

$$Path_{ABCF} = 0.094 + 0.049 + 0.072 + 0.01 + 0.02 + 0.03$$

$$\mathbf{Path_{ABCF} = 0.275\ in}$$

$$Path_{ABE} = 0.094 + 0.052 + 0.03 + 0.05$$

$$\mathbf{Path_{ABE} = 0.226\ in}$$

Section	Item	Air Flow [cfm]	Air Velocity [fpm]	Diameter [inch]	Friction Rate [Inch/100']	Duct Length [ft]	Pressure Drop [inch]
AB	Duct	2000	1130	18	0.094	100	0.094
BC	Duct	1500	1075	16	0.098	50	0.049
BE	Duct	500	917	10	0.13	40	0.052
	Tee B - Main	2000 / 1500		18 / 16			0.01
	Tee B - Branch	2000 / 500		18 / 10			0.03
CD	Duct	500	637	12	0.053	90	0.048
CF	Duct	1000	935	14	0.09	80	0.072
	Tee C - Main	1500 / 500		16 / 12			0.0
	Tee C - Branch	1500 / 1000		16 / 14			0.02
	Elbow	500		12			0.01

الشكل 6.16 جدول النتائج

نلاحظ من النتائج أن المسار الأسوأ هو المسار ABCF ! ونلاحظ أن هبوط الضغط للمسار ABCD قريب من هبوط للمسار ABCD, بينما هناك فرق مع المسار ABE لذلك سنحتاج إلى تركيب دامبر للفرع BE تماماً بعد التفريعة B وذلك لموازنة هذا الماء مع باقي المسارات.

ملاحظة: باعتبار أن هذا المثال موجه للمبتدئين فقد تم إهمال بعض العناصر مثل الوصلة بين المروحة والمقطع الأول وكذلك الوصلة بين فتحة الإرسال والدكت الموصول معها وذلك لتبسيط المثال قدر الإمكان

17. هود المطبخ Kitchen Hood:

يتم تركيب الهود في المطابخ فوق منصة الطبخ من أجل التقاط الحرارة الناتجة عن عملية الطبخ وكذلك التقاط الشحوم ونواتج الاحتراق والأبخرة والدخان والروائح والبخار ومن ثم طردها خارج حدود المطبخ.

الشكل 1.17 هود المطبخ

يتألف نظام تهوية المطابخ من هود يحوي فلتر ومجرى هواء ومروحة ووسيلة لتأمين هواء التعويض. وجميع هذه المكونات يجب أن تكون قابلة للوصول إليها بشكل مباشر أو عن طريق فتحات وصول من أجل عملية التنظيف والفحص. بالنسبة لهواء التعويض يجب تأمينه لاستبدال الهواء المطرود, ويمكن أن تتم العملية عن طريق نظام مستقل أو من خلال نظام التكييف الموجود في المبنى.

1.17. أنواع الهود:

يمكن تقسيم الهود التجاري إلى نوعين[1]:

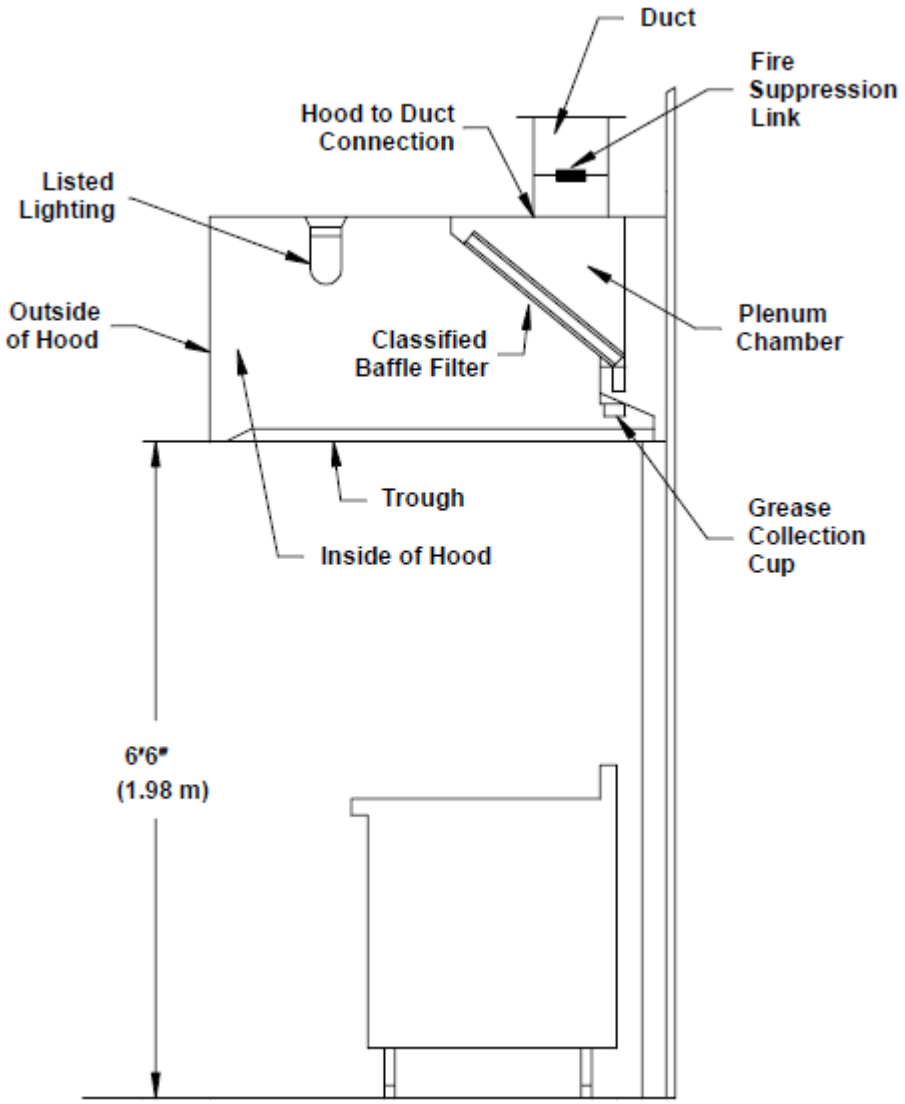
1.1.17. **نوع Type I:** ويقصد به الهود المصنّع والمصمم من أجل التخلص من الشحوم والدخان. ويجب أن يحوي على فلتر ومنظومة إخماد حريق. ويتم تصنيعه بحيث يتحمل درجات الحرارة المرتفعة واللهب

[1] *SMACNA Kitchen ventilation systems and food service equipment fabrication and installation guidelines*

المتوقع ويجب إحكامه من التسرب تماماً في جميع الوصلات والشقوق. وعادة ما يتم تصنيعه من مادة الستانلس Stainless Steel بسماكة لا تقل عن 0.94 mm (No. 20 MSG) أو أي مادة مكافئة من حيث المتانة ومقاومة الحريق والصدأ. ويجب استخدام هذا النوع إذا كانت الشحوم تتولد كالتالي:

- إذا كان متوسط كمية الشحم والدخان خلال 8 ساعات عمل يزيد عن $5\ mg/m^3$ وبشكل عام جميع عمليات الطبخ تتجاوز هذا الرقم.
- عند استخدام الوقود الصلب في عملية الطبخ.

الشكل 2.17 يبين المكونات الرئيسية للهود نوع Type I.



الشكل 2.17 مكونات الهود نوع Type I

2.1.17 نوع Type II: ويقصد به الهود المصنع والمصمم من أجل التخلص من البخار والحرارة والروائح وعادة يتم استخدامه مع أجهزة غسيل عدة المطبخ وحيث لا تتواجد الشحوم. ويمكن أن يتم تركيب هذا النوع مع فلاتر أو بدونها ولا داعي لتركيب منظومة إخماد حريق. وعادة ما يتم تصنيعه من فولاذ غير قابل للتآكل Non-Corrosive Steel بسماكة 0.61 mm (24 ga) ويتم إحكام جميع الوصلات والشقوق.
ويتم استخدام هذا النوع عند الشروط التالية:

- إذا كانت الحرارة الناتجة عن الطبخ أو غسيل عدة المطبخ تؤدي إلى درجة حرارة 84 °F (29 °C) داخل منطقة العمل.
- إذا كانت الرطوبة الناتجة عن الطبخ أو غسيل عدة المطبخ تؤدي إلى رطوبة نسبية أكثر من 70% داخل منطقة العمل.
- إذا كانت كمية الغاز المستخدم في فرن الطبخ تزيد 20 Btu/ft^3 من حجم المطبخ.
- إذا كانت كمية الملوثات الناتجة عن الطبخ أو غسيل عدة المطبخ تتجاوز المسموح به والمحدد ضمن ستاندرد ASHRAE 62.1

والهود من نوع Type II يصنف إلى صنفين:

1.2.1.17. الهود التكثيفي Condensate Hood: حيث يستخدم مع أجهزة غسيل عدة المطبخ والتي يتوقع معها تولد رطوبة مرتفعة, وبالتالي تصبح مهمة الهود تجميع البخار المتكاثف والتخلص منه باتجاه الصرف. وعادة ما تكون قيمة تدفق هواء الطرد المطلوب تساوي 50 – 75 cfm/ft^2 من مساحة فتحة الهود.

2.2.1.17. الهود الحراري/الدخاني Heat/Fume Hood: يستخدم حيث يتوقع وجود حرارة ودخان فقط كما هو الحال في الأفران ولا داعي لتركيب فلاتر. وعادة ما تكون قيمة تدفق هواء الطرد المطلوب تساوي 50 – 100 cfm/ft^2 من مساحة فتحة الهود.

نستنتج أن النوع I يمكن أن يستخدم حيث يوجد النوع II ولكن ليس بالعكس.

2.17. طرازات الهود Hood Styles:

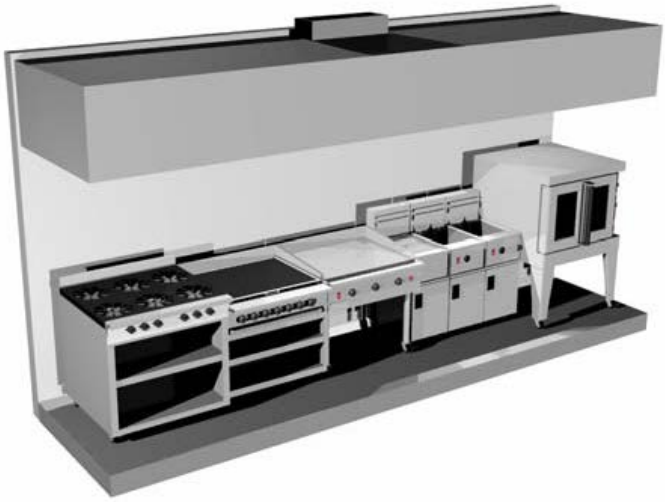
بشكل عام يوجد صنفين للهود من حيث الشكل: مع مظلة Canopy وبدون مظلة Non-Canopy, وينضوي تحت هذين الصنفين خمسة طرازات كالتالي:

1.2.17. **طراز الهود الجداري Wall-Mounted Canopy:** عبارة عن هود يتم تركيبه على الجدار فوق منصة الطبخ سوءاً كان جهاز طبخ واحد أو خط من الأجهزة, أو يمكن أن يكون معلق فوق منصة الطبخ

مع وجود لوحة في الخلف تصل بين الهود والمنصة ويتدلى من الجانبين والأمام فقط. والشكل 3.17 يبين هذا النوع.

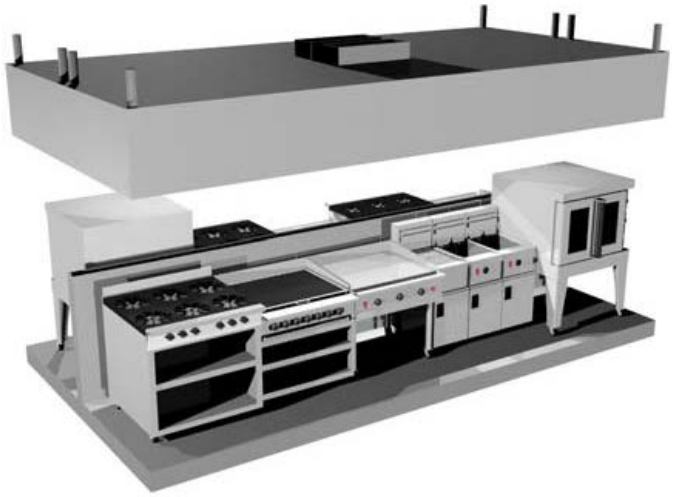
2.2.17. **طراز الجزيرة المفردة Single Island Canopy:** يتم تركيب هذا النوع فوق منصة الطبخ في حال كانت عبارة عن خط واحد من الأجهزة, وعادة ما يكون مفتوح من كل الجهات أي لا يوجد جدران للهود وبالتالي يتدلى من الأمام والخلف والجانبين كما هو في الشكل 4.17.

3.2.17. **طراز الجزيرة المزدوجة Double Island Canopy:** يتم تركيب هذا النوع فوق منصة الطبخ في حال كانت عبارة عن خطين من الأجهزة بحيث يلتقي الطرف الخلفي لكل خط مع بعضهما البعض كما هو موضح في الشكل 5, وعادة ما يكون مفتوح من كل الجهات أي لا يوجد جدران للهود, وبالتالي يتدلى الهود من الطرفين الأماميين والجوانب, لكن ممكن تركيب جدار فاصل في الطرف الخلفي لخطي الطبخ.



الشكل 3.17 طراز الهود الجداري

الشكل 4.17 طراز الجزيرة المفردة



الشكل 5.17 طراز الجزيرة المزدوجة

4.2.17. **طراز الرف الخلفي Backshelf Non-Canopy:** عبارة عن هود بدون مظلة Non-Canopy ويطلق عليه أحياناً Low-Proximity Hood. الحد السفلي لمقدمة الهود يكون منخفضاً وقريباً من منصة الطبخ, ويتراجع قليلاً عن مقدمة منصة الطبخ كما هو واضح في الشكل 6.17.

الشكل 6.17 طراز الرف الخلفي

5.2.17. **طراز التمرير العلوي Pass-Over:** عبارة عن هود مشابه للنوع Backshelf إلا أن ارتفاعه منخفض بحيث يسمح بتمرير الطعام من فوقه. وهو موضح في الشكل 7.17

الشكل 7.17 طراز التمرير العلوي

6.2.17. **طراز الحاجب Eyebrow Non-Canopy :** عبارة عن هود بدون مظلة Non-Canopy يتم تركيبه مباشرة فوق الجهاز (الفرن أو جهاز غسيل عدة الطبخ), أي فوق باب الفرن بحيث يتلقط الحرارة والدخان مباشرة, ويلاحظ أن مقدمة الهود تتمدد إلى خارج الجهاز كما هو موضح في الشكل 8.17

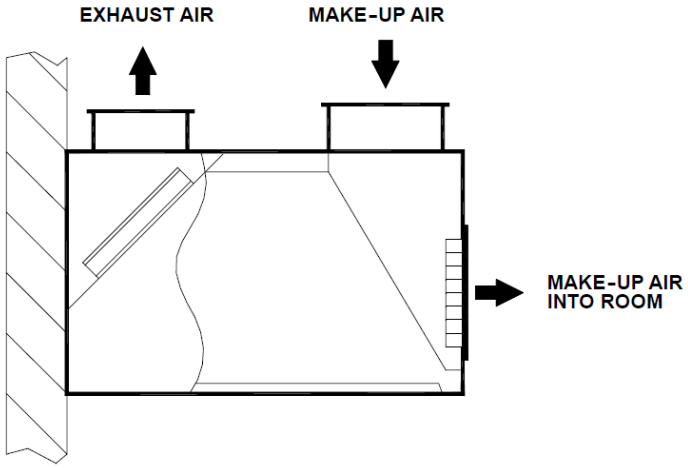
الشكل 8.17 طراز الحاجب

3.17. هواء التعويض Make-up Hood:

يجب تعويض هواء الطرد بهواء من خارج المطبخ إما خلال حيز المطبخ نفسه أو مدمج مع الهود, أي أن الهود يسحب الهواء ويقوم بتعويضه بنفس الوقت. ويمكن أن يكون هواء التعويض معالج (مبرد أو مسخن) أو غير معالج, ولا داعي لمعالجة هواء التعويض إذا تم توجيهه إلى داخل الهود, أما إذا تم توجيهه إلى المطبخ فيمكن معالجته قبل ذلك.

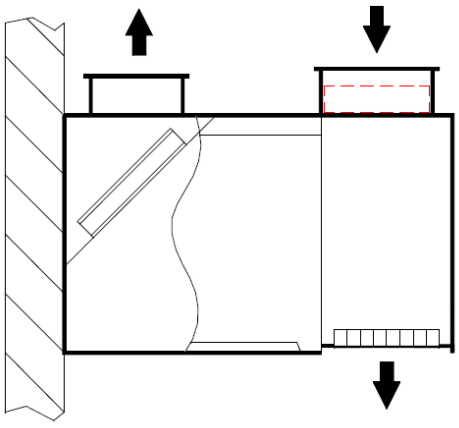
في حال كان هواء التعويض مدمج مع الهود فيوجد 3 احتمالات لاتجاه خروج هواء التعويض:

- التوجيه الوجهي Front Face Discharge: حيث يخرج هواء التعويض باتجاه المطبخ كما هو موضح في الشكل 9.17, وعادة ما تكون نسبة هواء التعويض بين 80% - 70% من هواء الطرد. ولتجنب دفع أبخرة الطبخ خارج حدود الهود يجب أن تكون سرعة خروج هواء التعويض صغيرة.



الشكل 9.17 التوجيه الوجهي لهواء التعويض

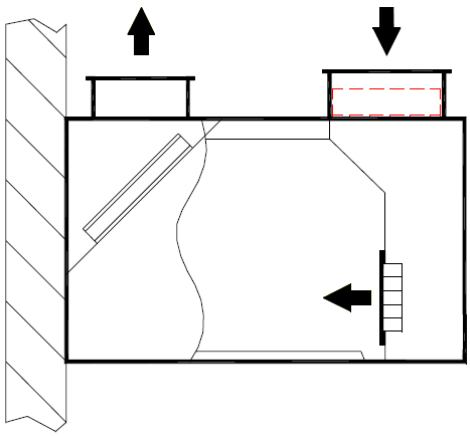
- التوجيه للأسفل Down Discharge: تستخدم هذه الطريقة إذا كان المطلوب الحصول على تبريد موضعي لعمال الطبخ كما أنها تساعد على تجنب الإشعاع الحراري الناتج من بعض عمليات الطبخ كما هو الحال في شوايات الدجاج. وفي هذه الطريقة يجب معالجة هواء التعويض قبل إرساله للهود, ويجب اختيار سرعة الهواء الخارج بعناية حتى لا يسبب الإزعاج لعمال الطبخ أو يقوم بتبريد الطعام. وعادة ما تكون نسبة هواء التعويض حتى 70% من هواء الطرد. وهذا النوع مبين في الشكل 10.17.



الشكل 10.17 توجيه هواء التعويض للأسفل

- التوجيه للداخل Internal Discharge: أو ما يطلق عليه طريقة دارة القِصر Short Circuit حيث يتم توجيه هواء التعويض إلى داخل الهود كما هو موضح في الشكل 11.17. لكن هذه الطريقة

تستخدم في مجالات محدودة, وتتغير قيمة هواء التعويض المطلوب بشكل كبير حسب نوع جهاز الطبخ وكمية هواء الطرد وغالباً لا يتم معالجة هواء التعويض في هذه الحالة. إن المطلوب من الهود في هذه الحالة هو سحب الأبخرة والأدخنة الناتجة عن عملية الطبخ بالإضافة إلى سحب هواء التعويض, فإذا كانت قيمة هواء الطرد الصافي (هواء الطرد الكلي ناقص هواء التعويض) أقل من كمية الأبخرة والأدخنة المتصاعدة من عملية الطبخ فإن جزءاً من هذه الأبخرة سوف يتسرب إلى خارج الهود.



الشكل 11.17 توجيه هواء التعويض للداخل

1.3.17. صمامات هواء التعويض Make-up Air Dampers: يجب تركيب صمامات حريق Fire Dampers لهواء التعويض المدمج مع الهود بحيث يغلق عند الوصول إلى درجة حرارة 286 °F (141 °C) وذلك في حال كان توجيه الهواء للأسفل أو للداخل, أما إذا كان التوجيه للخارج فليس من الضروري تركيب صمام حريق.

4.17. فلاتر الشحوم:

في المطابخ التجارية يجب تركيب فلتر من النوع اللاقط للشحوم Baffle Grease Filter, وأن يكون على طول منصة الطبخ, وغالباً ما يكون من مادة Stainless Steel أو الألمنيوم. ويجب تركيبه بطريقة تسمح بسحبه وتنظيفه. ويتم تركيب الفلتر بزاوية مائلة وذلك ليسمح بتجميع الشحوم إلى الخلف والتخلص منها ضمن شبكة التصريف.

الشكل 12.17 فلتر الشحوم

5.17. مجاري الطرد:

مجاري الطرد المتصلة مع الهود نوع Type I يجب أن تكون ملحومة باستمرار ومحكمة ضد السوائل ومصنعة من الفولاذ قياس 16-ga أو من 18-ga Stainless Steel, ويجب تأمين فتحة وصول مناسبة للتخلص من الشحوم المتراكمة على الجدران الداخلية للمجرى كما هو موضح في الشكل 13.17.

الشكل 13.17 فتحة تنظيف

يجب تثبيت المجرى بشكل جيد بدون استخدام مثبتات تخترق جدران المجرى, كما يجب أن تكون سطوح الجدران القريبة من المجرى غير قابلة للاحتراق أو بعيدة عنه بشكل كافٍ.

يجب عدم وصل مجرى طرد هواء الهود مع أي نظام طرد آخر في المبنى, وفي حال وجود أكثر من هود مع بعض فيجب أن تكون هذه الهودات في نفس الغرفة أو ضمن غرف متجاورة في نفس الطابق.

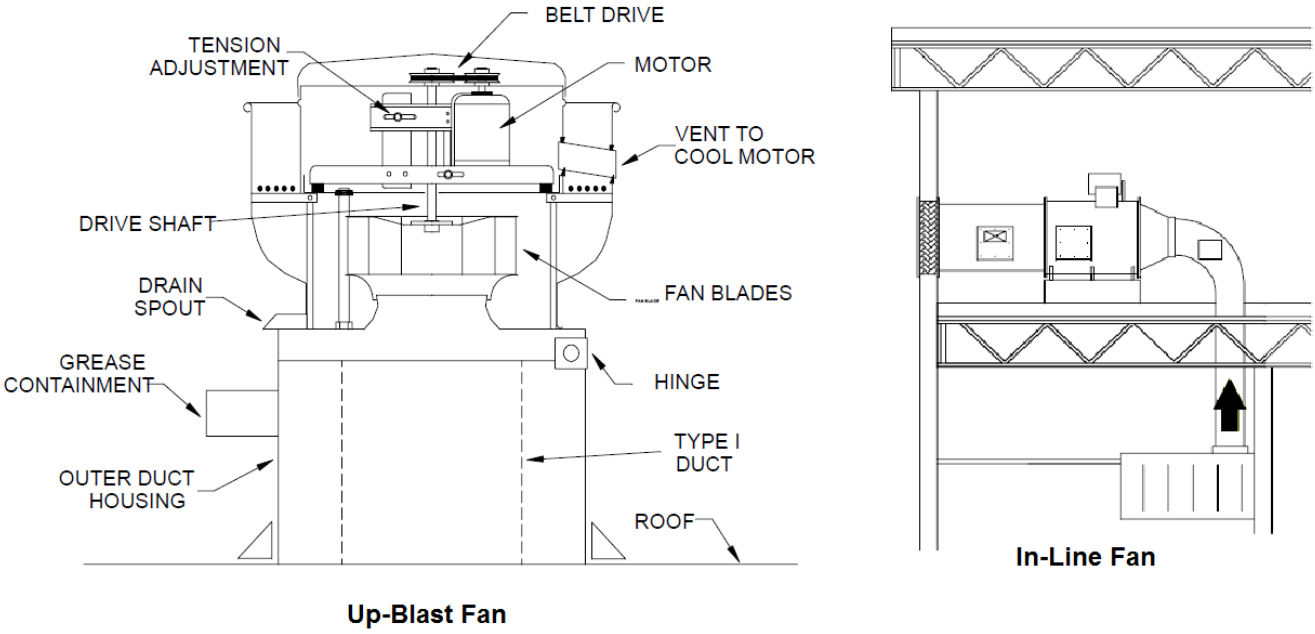
بالنسبة لمجاري الطرد المتصلة مع هود نوع Type II يتم تصنيعها من مواد معدنية متينة ومحكمة بشكل جيد.

6.17. مروحة الطرد:

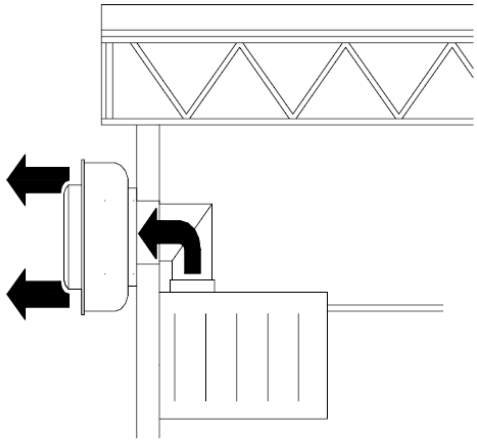
يجب أن تكون مروحة الطرد الخاصة بالهود مصممة لهذا الغرض, ويجب أن يكون المحرك خارج التيار الهوائي, ويجب أن تحوي المروحة على مصرف للتخلص من الشحوم الواصلة إليها.

غالباً ما تكون المروحة من النوع التوربيني Centrifugal Fan ذات شفرات مستقيمة للخلف Backward Inclined.

يمكن أن تكون المروحة من نوع Up-Blast يتم تركيبها على السطح أو بشكل جانبي على الجدار, أو من نوع In-Line يمكن تركيبها داخل المطبخ.



الشكل 14.17 مروحة الطرد نوع Up-blast ونوع In-line



الشكل 14.17 تركيب مروحة Up-blast على جدار

7.17. أبعاد الهود:

تتغير أبعاد الهود المطلوبة حسب أبعاد منصة الطبخ. وبشكل عام يجب للهود أن يمتد من كافة الجهات المفتوحة فوق منصة الطبخ. والجدول 1 يبين الأبعاد المطلوبة لامتداد الهود زيادة عن أبعاد منصة الطبخ وذلك حسب نوع الهود.

Type of Hood	End Overhang	Front Overhang	Rear Overhang
Wall-mounted canopy	6 in. to 12 in. (15-30 cm)	12 in (30 cm)	--
Single island canopy	6 in. to 12 in. (15-30 cm)	12 in. (30 cm)	12 in. (30 cm)
Double island canopy	6 in. to 12 in. (15-30 cm)	12 in. (30 cm)	12 in. (30 cm)
Eyebrow	0 in.	12 in. (30 cm)	--
Backshelf or Pass-over	0 to 3 in. (72 mm)	--	Front set back 6 in. to 12 in. (15-30 cm) in from the front of the cooking surface

الجدول 1.17 أبعاد الهود المطلوبة

8.17. تصنيف أجهزة الطبخ:

تصنف أجهزة الطبخ من حيث كثافة البخار والدخان والحرارة والشحوم الناتجة عنها إلى التصنيفات التالية[1]:

1.8.17. **أجهزة ذات كثافة خفيفة Light duty equipment:** وتتضمن الأجهزة التالية:

- أفران الغاز والكهرباء المغلقة.

[1] *ASHRAE Standard 154 – Ventilation for commercial cooking operations*

- غلايات البخار التي تعمل بالغاز أو الكهرباء.
- الحجرات البخارية (سلق الطعام بواسطة البخار) التي تعمل بالغاز أو الكهرباء.
- مذيبات الجبن التي تعمل بالغاز أو الكهرباء.
- مسخنات الطعام ومذيبات الجليد Rethermalizers التي تعمل بالغاز أو الكهرباء.

2.8.17. **أجهزة ذات كثافة متوسطة Medium duty equipment:** وتتضمن الأجهزة التالية:

- الأفران الكهربائية المكشوفة.
- أفران الغاز أو الكهرباء ذات درجات الحرارة المرتفعة.
- الشوايات التي تعمل بالغاز أو الكهرباء.
- القلايات التي تعمل بالغاز أو الكهرباء.
- طباخات المعكرونة التي تعمل بالغاز أو الكهرباء.
- أفران البيتزا التي تعمل بالغاز أو الكهرباء.
- القلايات والصواني التي يتم إمالتها والتي تعمل بالغاز أو الكهرباء.
- شوايات الدجاج القائمة التي تعمل بالغاز أو الكهرباء.

3.8.17. **أجهزة ذات كثافة عالية Heavy duty equipment:** وتتضمن الأجهزة التالية:

- شوايات الدجاج الأفقية التي تعمل بالغاز أو الكهرباء.
- سيور نقل الدجاج المشوي والتي تعمل بالغاز أو الكهرباء.
- المواقد المفتوحة التي نعمل بالغاز.
- أفران القلي التي تعمل بالغاز أو الكهرباء.
- شوايات الدجاج التي تشوي من الأعلى والتي تعمل بالغاز أو الكهرباء.
- صفائح التسخين والتحمير.

4.8.17. **أجهزة ذات كثافة عالية جداً Extra Heavy duty equipment:** وتتضمن ما يلي:

- الأجهزة التي تستخدم الوقود الصلب كالخشب والفحم لتأمين مصدر الحرارة اللازم لعملية الطبخ

ملاحظة: إذا تم استخدام هود فوق أجهزة طبخ بكثافات طبخ مختلفة, فيتم اعتماد التصنيف الأعلى بينها

9.17. تدفق هواء الطرد:

يمكن تحديد قيمة هواء الطرد الصافي للهود من النوع Type I لواحدة الطول كما هو في الجدول 2.17[1]:

Hood Type	Extra Heavy Duty		Heavy Duty		Medium Duty		Light Duty	
	cfm/ft	L/s.m	cfm/ft	L/s.m	cfm/ft	L/s.m	cfm/ft	L/s.m
Wall-mounted canopy	550	852	400	619	300	464	200	310
Single island canopy	700	1084	600	929	500	774	400	619
Double island canopy (per side)	550	852	400	619	300	464	250	387
Eyebrow Non-canopy	N/A	N/A	N/A	N/A	250	387	250	387
Backshelf / pass-over	N/A	N/A	400	619	300	464	300	464

الجدول 2.17 قيمة تدفق هواء الطرد لواحدة الطول

ويمكن تخفيض قيم الجدول السابق بغرض تقليل استهلاك الكهرباء واتباع الأرقام المذكورة في الجدول 3.17[2] وهو مقتبس من الستاندرد ASHRAE 90.1:

Hood Type	Extra Heavy Duty		Heavy Duty		Medium Duty		Light Duty	
	cfm/ft	L/s.m	cfm/ft	L/s.m	cfm/ft	L/s.m	cfm/ft	L/s.m
Wall-mounted canopy	385	597	280	434	210	325	140	217
Single island canopy	490	760	420	651	350	542	280	434
Double island canopy (per side)	385	597	280	434	210	325	175	271
Eyebrow Non-canopy	N/A	N/A	N/A	N/A	175	271	175	271
Backshelf / pass-over	N/A	N/A	280	434	210	325	210	325

الجدول 3.17 قيمة تدفق هواء الطرد لواحدة الطول وفق ASHRAE 90.1

بالنسبة للهود من النوع Type II يجب ألا تقل قيمة تدفق هواء الطرد عن 300 cfm/ft (465 L/s.m)

[1] ASHRAE Standard 154 – Ventilation for commercial cooking operations
[2] ASHRAE Standard 90.1-2013 - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings

10.17. اعتبارات تصميمية:

عند تصميم نظام الهود في المطابخ نأخذ النقاط التصميمة التالية بعين الاعتبار:

- يتم تصميم سرعة الهواء ضمن مجرى الطرد بين 1500 – 2500 fpm (7.5 – 12.5 m/s).
- جميع وصلات المجرى العرضانية والطولانية يجب أن يتم لحامها بشكل متواصل بحيث تكون كتيمة ضد الماء.
- لا يجوز ربط هواء الطرد للمطبخ مع أي هواء طرد آخر موجود في المبنى, لكن يمكن ربط أكثر من هود مع بعض إلا في بعض الحالات مثل ربط هود من نوع Type I مع هود خاص بجهاز غسيل عدة المطبخ فإنه لا يجوز.
- يجب تركيب فتحات تنظيف على طول المجرى وعند كل منعطف من أجل سهولة التنظيف.
- يجب إمالة المجرى باتجاه نقطة تجميع الشحوم ليتم التخلص منها, ويمكن اعتماد القيمة ¼ in/ft (2 cm/m) كميول مقبول إذا كان طول المجرى أقل من 75 ft (23 m) أما إذا أطول من 75 ft (23 m) فيمكن أن يصل الميول إلى 1 in/ft (4 cm/m). ويمكن تطبيق نفس الميول بالنسبة للهود نوع Type II.
- يمكن ربط أكثر من فرع يسحب من نفس الهود أو من أكثر من هود على مجرى رئيسي واحد بشرط أن تتساوى سرعة الهواء وهبوط الضغط الستاتيكي لجميع الأفرع قدر الإمكان.
- عند اختيار مراوح الهود يجب حساب هبوط الضغط الستاتيكي بالطرق المعتادة مع الانتباه إلى إضافة هبوط الضغط للهود والفلتر والذي نحصل عليه من خلال الكتالوج. مع الانتباه أيضاً إلى تصحيح كثافة الهود نتيجة درجة حرارة الهواء والارتفاع عن سطح البحر.
- نتيجة هبوب الرياح على مروحة الطرد فإنها ستؤثر على قيمة الضغط الستاتيكي بزيادة تتراوح ما بين 0.1 – 0.5 in w.g (25 – 125 Pa) وذلك حسب نوع المروحة ومكانها وسرعة الرياح واتجاهها.
- بالنسبة لهواء التعويض يفضل أن تكون سرعة الهواء أقل ما يمكن.
- حافظ على ضغط سلبي داخل المطبخ بحث يكون فرق الضغط بين حيز المطبخ وأي حيز مجاور غير معد للطبخ لا يقل عن 0.02 in w.g (5 Pa).
- في حال إرسال هواء خارجي كتهوية للمطبخ فيمكن اعتبار هذا الهواء جزء من هواء التعويض.
- يجب ألا تقل المسافة بين مروحة الطرد ومأخذ هواء التعويض عن 10 ft (3 m).

- يمكن إضافة عامل أمان على تدفق الطرد يترواح ما بين 25 % — 5.

11.17. خطوات التصميم:

يمكن إجمال عملية تصميم الهود بالخطوات التالية:

1- تحديد مكان منصة الطبخ وصنف كثافة عمل الأجهزة.
2- تحديد نوع الهود وطرازه ومكوناته.
3- تحديد قيمة هواء الطرد اللازم للهود من خلال الجدول 2.17 أو 3.17.
4- تحديد طريقة تأمين هواء التعويض وكميته.
5- اختيار مروحة الطرد من خلال تحديد التدفق وحساب هبوط الضغط الستاتيكي اللازم.
6- اختيار مروحة التعويض من خلال تحديد التدفق وحساب هبوط الضغط الستاتيكي اللازم.

18. نظافة مجرى الهواء:

يجب المحافظة على نظافة مجرى الهواء عند تخزينه في الموقع وأثناء التركيب وبعد الانتهاء من التركيب وذلك باتباع التعليمات التالية[1]:

- عند نقل مجاري الهواء من المصنع إلى الموقع فيجب تغطية المجاري في سيارة النقل.
- بعد استلام مجاري الهواء من المصنع وتفريغها ضمن الموقع يجب تأمين مكان تخزين نظيف بعيد عن الأعمال المدنية التي تؤدي إلى انتشار الغبار مثل منشار البلاط وأعمال تثقيب مواد البناء أو المولدة الكهربائية.
- يجب أن يكون مكان التخزين نظيف وجاف وبعيد عن الطرقات التي تؤدي إلى انتشار الغبار بكثافة. ويفضل تخزين المجاري على مصاطب مرتفعة قليلاً لمنع تأثرها بالماء.
- يجب لصق بطاقات التسمية Labels على السطح الخارجي فقط للمجاري.
- في حال تشغيل أجهزة التكييف أثناء العمل في المبنى فيجب تركيب فلاتر مؤقتة لمنع انتقال الغبار والأوساخ إلى الأجهزة.
- لضمان عدم اتساخ المجاري أثناء تركيبها, يجب تغطية كافة المجاري الرأسية Risers, أما المجاري الأفقية فليس من الضروري تغطيتها. ويجب أن تكون منطقة العمل نظيفة وجافة. ويجب التأكد من مسح وتنظيف السطوح الداخلية للمجاري, أما أطراف المجاري المفتوحة فيجب تغطيتها أو إغلاقها.
- يجب عدم رفع الأغطية عن المجاري إلا قبل عملية الوصل مباشرة, ويجب التأكد من نظافة المجاري مرة أخرى ومسح السطح الداخلي إن لزم الأمر.
- أثناء تصميم مجاري الهواء, يفضل إضافة بوابات وصول Access Door ضمن المجرى للسماح بتنظيف المجرى بعد فترة من تشغيل نظام التكييف.

[1] *SMACNA Duct Cleanliness for new construction guidelines*

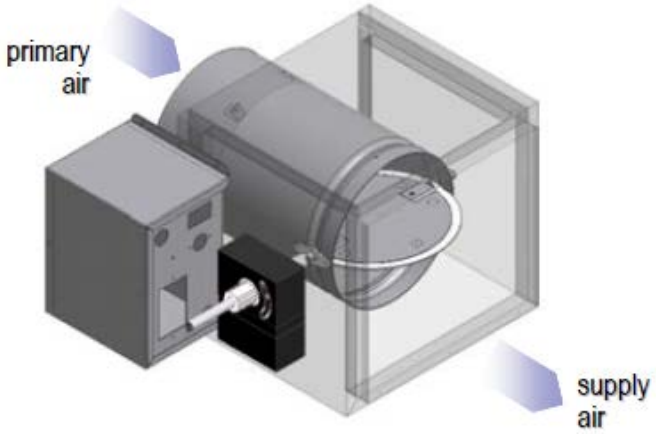
19. مخمد الهواء متغير السعة VAV Box:

يستخدم هذا الصندوق مع أنظمة حجم الهواء المتغير VAV systems بغرض التحكم بكمية هواء الإرسال وفق احتياج المنطقة المكيفة حيث يتألف الصندوق من دامبر متحكم به عن طريق محرك موصول مع الترموستات. فعندما تقترب درجة حرارة المنطقة من الدرجة المطلوبة يغلق الدامبر جزئياً مما يؤدي إلى انخفاض قيمة تدفق هواء الإرسال.

1.19. أنواع مخمدات VAV:

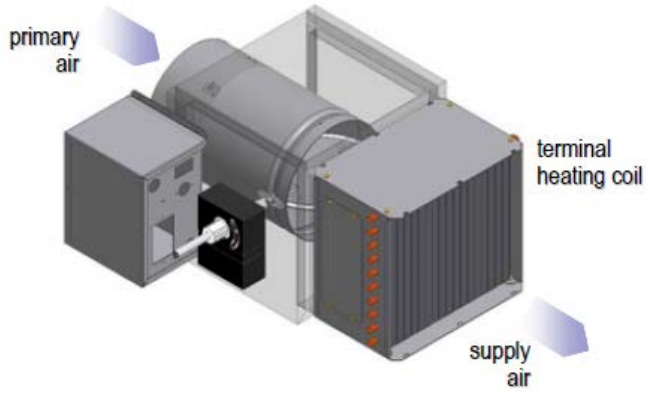
يوجد عدة أنواع لمخمدات VAV يمكن تلخيصها بالتالي:

1.1.19. **صندوق VAV للتبريد:** وهو عبارة عن أبسط أنواع مخمدات الـ VAV حيث يعمل في وضعية التبريد فقط كما هو موضح في الشكل 1.19.



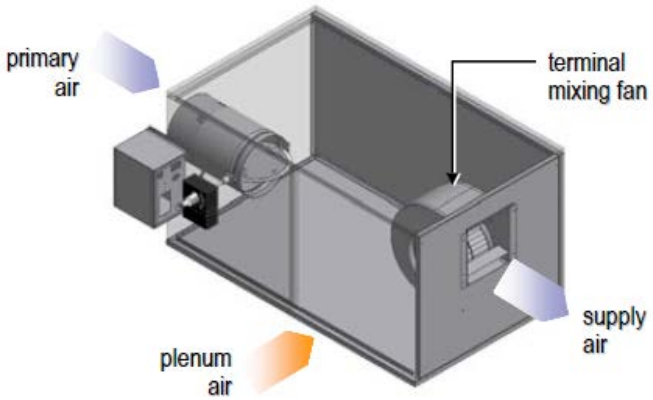
الشكل 1.19 صندوق VAV

2.1.19. **صندوق VAV مع إعادة تسخين:** حيث يتم استخدام ملف تسخين بعد الدامبر بغرض تسخين الهواء شتاءاً ويمكن أن يكون مصدر التسخين هو ملف ماء ساخن كما هو مبين في الشكل 2 أو وشيعة كهربائية.



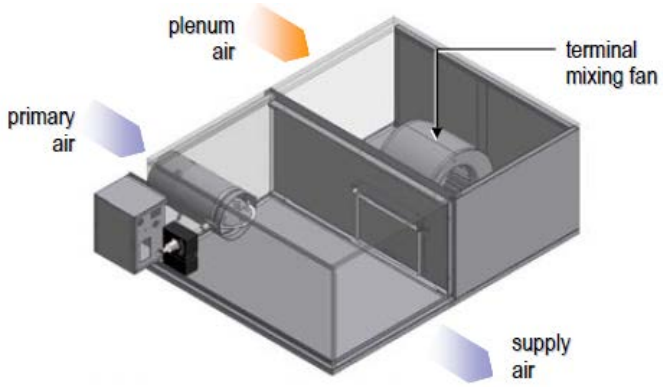
الشكل 2.19 صندوق VAV مع إعادة تسخين

3.1.19. صندوق VAV مع مروحة على التسلسل Series fan-powered: حيث يتم إضافة مروحة ذات سرعة ثابتة إلى الصندوق موصولة على التسلسل مع الدامبر كما هو موضح في الشكل 3.19 بحيث تعمل هذه المروحة باستمرار طالما أن الحيز مشغول. تقوم المروحة بسحب الهواء إما من الدامبر أو من حيز البلينم وهذا ما ينتج تدفق هواء ثابت للحيز.



الشكل 3.19 صندوق VAV مع مروحة على التسلسل

4.1.19. صندوق VAV مع مروحة على التفرع Parallel fan-powered: حيث يتم إضافة مروحة ذات سرعة ثابتة إلى الصندوق موصولة على التفرع مع الدامبر كما هو موضح في الشكل 4.19



الشكل 4.19 صندوق VAV مع مروحة على التفرع

2.19. أنواع مخمدات VAV من حيث طريقة التحكم:

كما يتم تصنيف مخمدات VAV إلى نوعين من حيث طريقة التحكم:

1.2.19 مستقلة عن الضغط Pressure Independent: مزودة بحساس تدفق بحيث يتحكم بقيمة تدفق الهواء الأعظمي والأصغري المسموح به للهواء الرئيسي Primary air.

2.2.19. معتمدة على الضغط Pressure Dependent: غير مجهزة بأداة للمحافظة على تدفق الهواء الرئيسي لذلك فإن التدفق تابع لوضعية الدامبر ولقيمة الضغط الستاتيكي قبل الصندوق.

ملحق

الرموز المستخدمة في أنظمة توزيع الهواء (واحدات بريطانية)

SYMBOL MEANING	SYMBOL
POINT OF CHANGE IN DUCT CONSTRUCTION (BY STATIC PRESSURE CLASS)	
DUCT (1ST FIGURE, SIDE SHOWN 2ND FIGURE, SIDE NOT SHOWN)	20 x 12
ACOUSTICAL LINING DUCT DIMENSIONS FOR NET FREE AREA	
DIRECTION OF FLOW	
DUCT SECTION (SUPPLY)	S 30 x 12
DUCT SECTION (EXHAUST OR RETURN)	E OR R 20 x 12
INCLINED RISE (R) OR DROP (D) ARROW IN DIRECTION OF AIR FLOW	R
TRANSITIONS: GIVE SIZES. NOTE F.O.T. FLAT ON TOP OR F.O.B. FLAT ON BOTTOM IF APPLICABLE	
STANDARD BRANCH FOR SUPPLY & RETURN (NO SPLITTER) 45° INLET	S R
WYE JUNCTION	
VOLUME DAMPER MANUAL OPERATION	VD
AUTOMATIC DAMPERS MOTOR OPERATED	SEC MOD
ACCESS DOOR (AD) ACCESS PANEL (AP)	OR AD
FIRE DAMPER: SHOW VERTICAL POS. SHOW HORIZ. POS.	FD AD
SMOKE DAMPER (S)	AD S
HEAT STOP - (H) CEILING DAMPER - (C) RADIATION DAMPER - (R)	
TURNING VANES (TYPE AS SPECIFIED)	
FLEXIBLE DUCT FLEXIBLE CONNECTION	
GOOSENECK HOOD (COWL)	
BACK DRAFT DAMPER	BDD

SYMBOL MEANING	SYMBOL
SUPPLY GRILLE (SG)	20 x 12 SG 700 CFM
RETURN (RG) OR EXHAUST (EG) GRILLE (NOTE AT FLR OR CLG)	20 x 12 RG 700 CFM
SUPPLY REGISTER (SR) (A GRILLE + INTEGRAL VOL. CONTROL)	20 x 12 SR 700 CFM
EXHAUST OR RETURN AIR INLET CEILING (INDICATE TYPE)	20 x 12 GR 700 CFM
SUPPLY OUTLET. CEILING, ROUND (TYPE AS SPECIFIED) INDICATE FLOW DIRECTION	20 700 CFM
SUPPLY OUTLET. CEILING, SQUARE (TYPE AS SPECIFIED) INDICATE FLOW DIRECTION	12 x 12 700 CFM
TERMINAL UNIT. (GIVE TYPE AND OR SCHEDULE)	T.U.
COMBINATION DIFFUSER AND LIGHT FIXTURE	
DOOR GRILLE	DG 12 x 6
SOUND TRAP	ST
FAN & MOTOR WITH BELT GUARD & FLEXIBLE CONNECTIONS	
VENTILATING UNIT (TYPE AS SPECIFIED)	
UNIT HEATER (DOWNBLAST)	
UNIT HEATER (HORIZONTAL)	
UNIT HEATER (CENTRIFUGAL FAN) PLAN	
THERMOSTAT	(T)
POWER OR GRAVITY ROOF VENTILATOR - EXHAUST (ERV)	
POWER OR GRAVITY ROOF VENTILATOR - INTAKE (SRV)	
POWER OR GRAVITY ROOF VENTILATOR - LOUVERED	
LOUVERS & SCREEN	36 H x 24 L

SYMBOLS FOR HVAC SYSTEMS (I-P)

الرموز المستخدمة في أنظمة توزيع الهواء (واحدات دولية)

SYMBOL MEANING	SYMBOL
POINT OF CHANGE IN DUCT CONSTRUCTION (BY STATIC PRESSURE CLASS)	
DUCT (1ST FIGURE, SIDE SHOWN 2ND FIGURE, SIDE NOT SHOWN)	508 x 305
ACOUSTICAL LINING DUCT DIMENSIONS FOR NET FREE AREA	
DIRECTION OF FLOW	
DUCT SECTION (SUPPLY)	S 762 x 305
DUCT SECTION (EXHAUST OR RETURN)	E OR R 762 x 305
INCLINED RISE (R) OR DROP (D) ARROW IN DIRECTION OF AIR FLOW	R
TRANSITIONS: GIVE SIZES. NOTE F.O.T. FLAT ON TOP OR F.O.B. FLAT ON BOTTOM IF APPLICABLE	
STANDARD BRANCH FOR SUPPLY & RETURN (NO SPLITTER) 45° INLET	S R
WYE JUNCTION	
VOLUME DAMPER MANUAL OPERATION	VD
AUTOMATIC DAMPERS MOTOR OPERATED	SEC MOD
ACCESS DOOR (AD) ACCESS PANEL (AP)	OR AD
FIRE DAMPER: SHOW VERTICAL POS. SHOW HORIZ. POS.	FD AD
SMOKE DAMPER (S)	AD S
HEAT STOP - CEILING DAMPER - (C) RADIATION DAMPER - (R)	
TURNING VANES (TYPE AS SPECIFIED)	
FLEXIBLE DUCT FLEXIBLE CONNECTION	
GOOSENECK HOOD (COWL)	
BACK DRAFT DAMPER	BDD

SYMBOL MEANING	SYMBOL
SUPPLY GRILLE (SG)	508 x 305 SG 330 LPS
RETURN (RG) OR EXHAUST (EG) GRILLE (NOTE AT FLR OR CLG)	508 x 305 RG 330 LPS
SUPPLY REGISTER (SR) (A GRILLE + INTEGRAL VOL. CONTROL)	508 x 305 SR 330 LPS
EXHAUST OR RETURN AIR INLET CEILING (INDICATE TYPE)	508 x 305 GR 330 LPS
SUPPLY OUTLET. CEILING, ROUND (TYPE AS SPECIFIED) INDICATE FLOW DIRECTION	508 330 LPS
SUPPLY OUTLET. CEILING, SQUARE (TYPE AS SPECIFIED) INDICATE FLOW DIRECTION	508 330 LPS
TERMINAL UNIT. (GIVE TYPE AND OR SCHEDULE)	T.U.
COMBINATION DIFFUSER AND LIGHT FIXTURE	
DOOR GRILLE	DG 305 x 152
SOUND TRAP	ST
FAN & MOTOR WITH BELT GUARD & FLEXIBLE CONNECTIONS	
VENTILATING UNIT (TYPE AS SPECIFIED)	
UNIT HEATER (DOWNBLAST)	
UNIT HEATER (HORIZONTAL)	
UNIT HEATER (CENTRIFUGAL FAN) PLAN	
THERMOSTAT	(T)
POWER OR GRAVITY ROOF VENTILATOR - EXHAUST (ERV)	
POWER OR GRAVITY ROOF VENTILATOR - INTAKE (SRV)	
POWER OR GRAVITY ROOF VENTILATOR - LOUVERED	
LOUVERS & SCREEN	914 H x 610 L

SYMBOLS FOR HVAC SYSTEMS (S-I)

مراجع الكتاب:

- SMACNA HVAC duct construction standard metal and flexible 3rd edition
- SMACNA HVAC Systems Duct Design 4th edition
- SMACNA Kitchen ventilation systems and food service equipment fabrication and installation guidelines
- SMACNA HVAC air duct leakage test manual 1st edition
- SMACNA Duct Cleanliness for new construction guidelines
- ASHRAE Applications Handbook 2011
- ASHRAE Standard 90.1-2013 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings
- ASHRAE Standard 154 – Ventilation for commercial cooking operations
- ASHRAE Pocket Guide 8th edition
- ADC Flexible Duct Performance & Installation Standards 5th edition
- Builder's Guide to Energy Efficient Homes in Louisiana

لمتابعة صفحة أكاديمية التكييف على مواقع الانترنت: