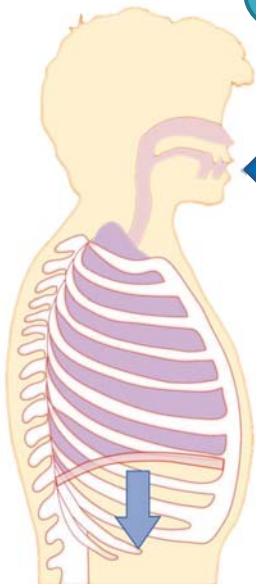
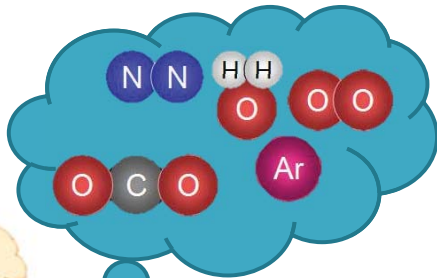


แนวทางอนุรักษ์การใช้พลังงานของระบบอัดอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม

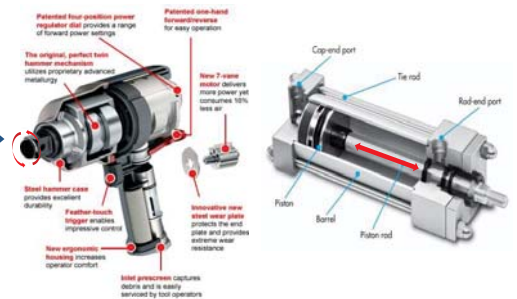
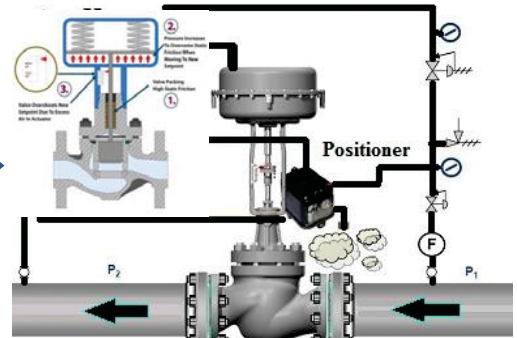


โดย อ.หนึ่ง กลับทวี
nk.triplee@gmail.com

ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด

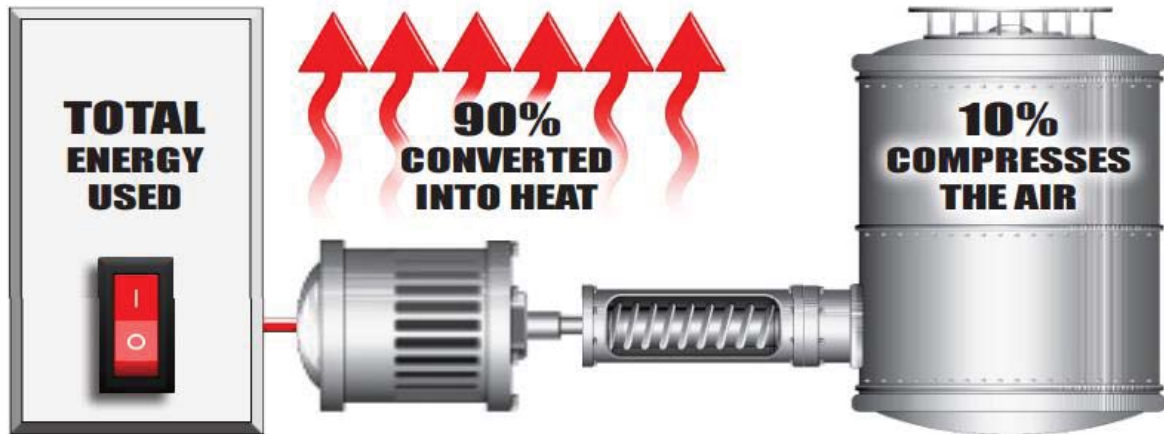


Components	Percent volume *volume may vary
Nitrogen	78.08
Oxygen	20.95
Argon	0.93
Carbon dioxide*	0.03
Neon	0.018
Helium	0.00052
Methane	0.00015
Krypton	0.00011
Carbon monoxide*	0.0001
Nitrogen monoxide*	0.00005
Hydrogen*	0.00005
Ozone*	0.00004
Xenon	0.000008
Nitrogen dioxide	0.0000001
Iodine	2×10^{-11}
Radon	6×10^{-18}

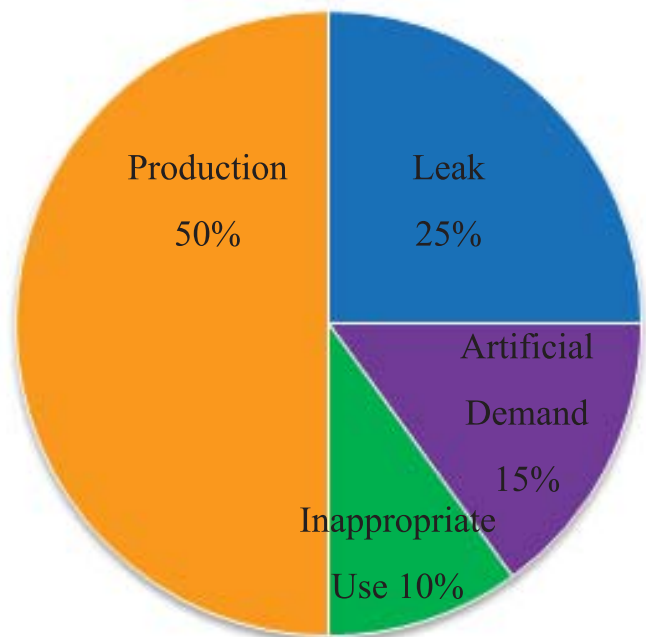


ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด

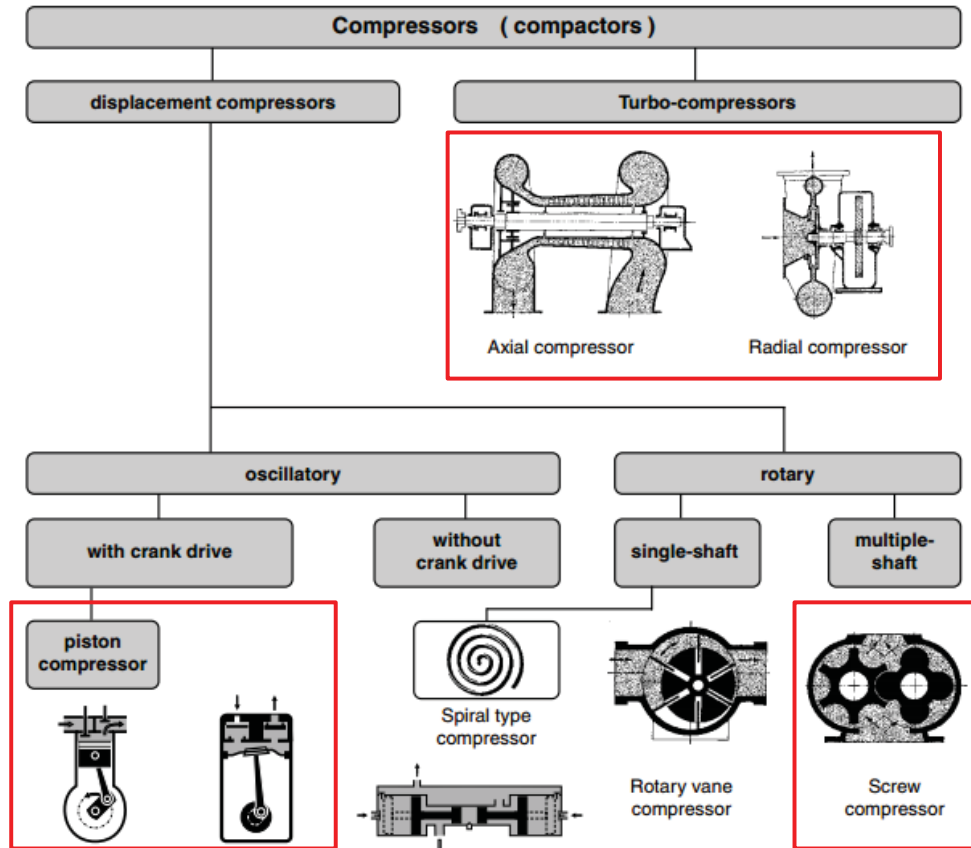
Consider this. Of the electrical power consumed by the air compressor motor; only 10% (approx.) of that energy is used to compress the air itself, the remaining 90% is converted directly into heat.



ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด

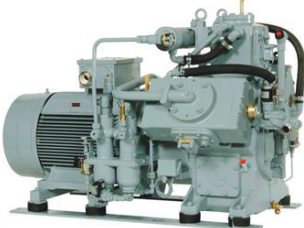


ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด

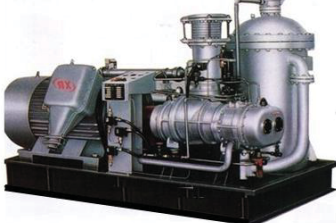


ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด

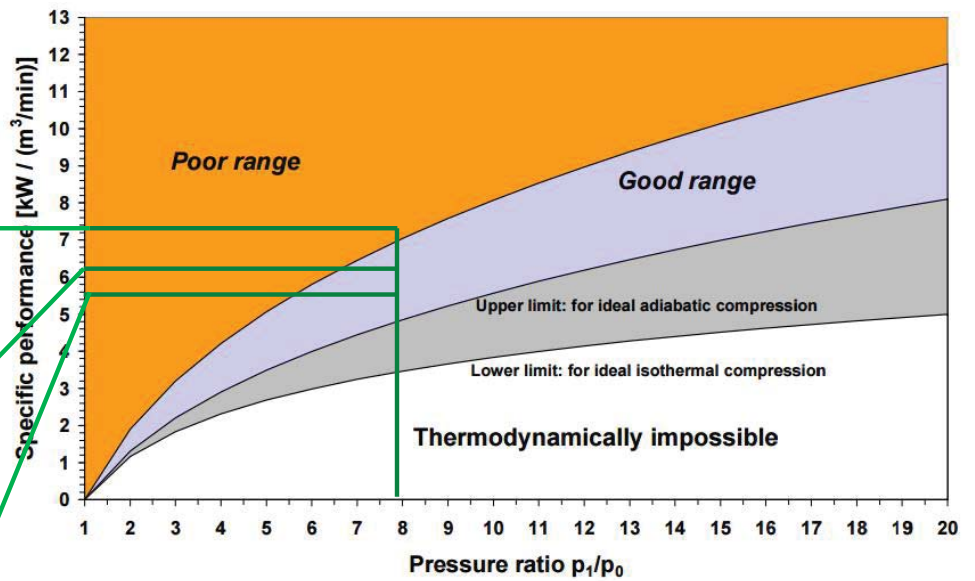
Reciprocating Air Compressors



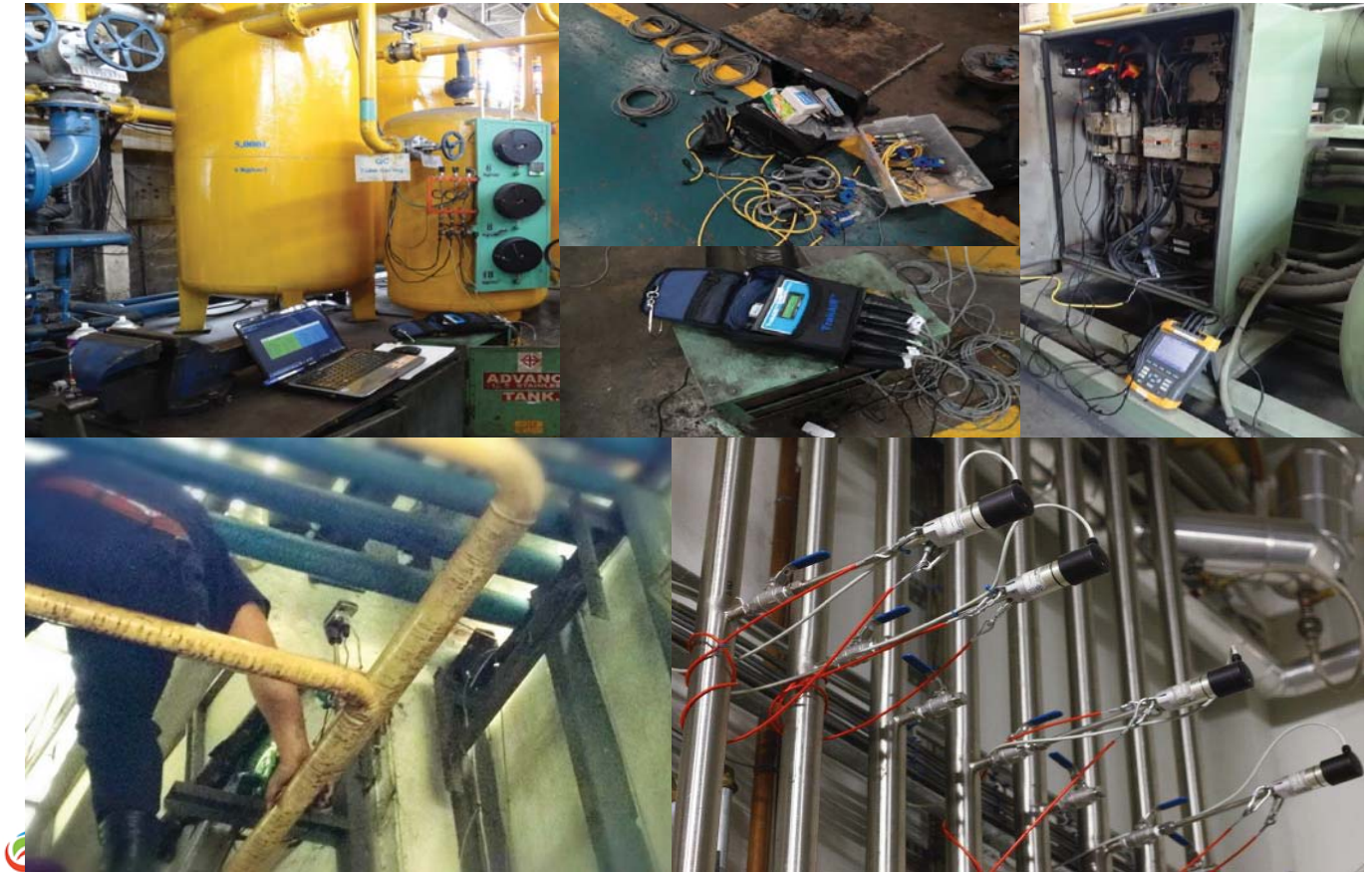
Screw Air Compressors



Centrifugal Air Compressors



ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด



ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด

Power

DISCHARGE AIR CAPACITY	12.6	m ³ /min
PRESS./MAX. PRESS.	0.7/0.78	MPa
RATED PRESS.	0.7	MPa
MOTOR SHAFT POWER	75	kW

Loaded

Unloaded

%Load	Flow FAD	m3/min	Power	kW	kW (m3/min)	kWh m3
100%	$(1.0 \times 12.6) + (0.0 \times 0.0)$	12.6	$(1.0 \times 75) + (0.0 \times 22)$	75.0	5.95	0.099
50%	$(0.5 \times 12.6) + (0.5 \times 0.0)$	6.3	$(0.5 \times 75) + (0.5 \times 22)$	48.5	7.70	0.128

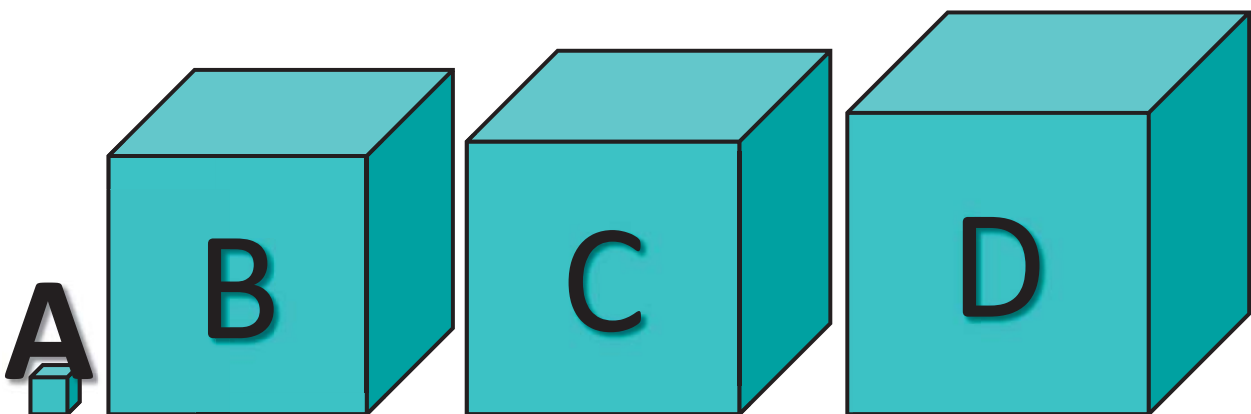
ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด

Normal Cubic Meters per Hour (Nm³/h) - Refers to capacity at normal conditions (101.325 kPa & 0°C) and relative humidity of 0 percent

Standard Cubic Meter Per Hour (Sm³/h) - Refers to the flow rate at any location corrected to a pressure of 101.325 kPa and a temperature of 15°C with a compressibility factor of 1.0 and in a dry condition.

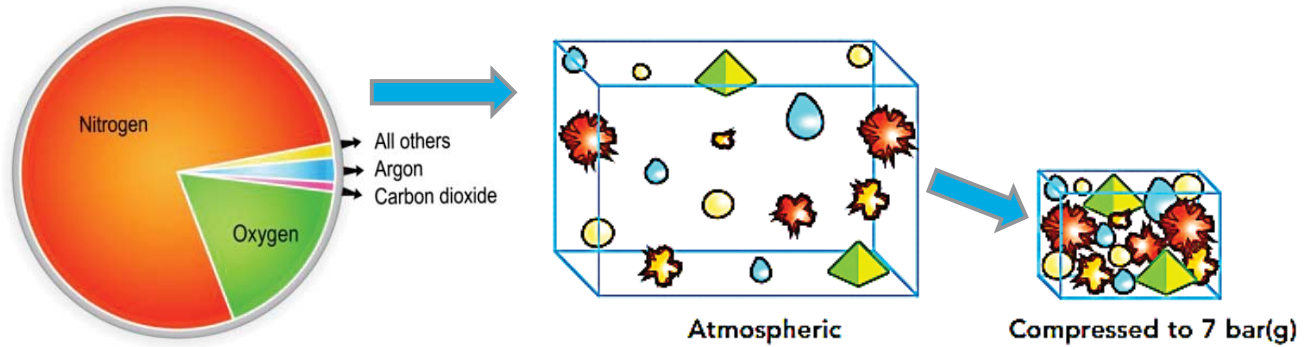
FAD (Free Air Delivery) is the actual quantity of compressed air at the discharge of the compressor. The units for FAD are CFM in the imperial system and l/min in the SI system. The units are measured according the ambient inlet standard conditions ISO 1217 - 1 bar abs and 20°C.

ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด

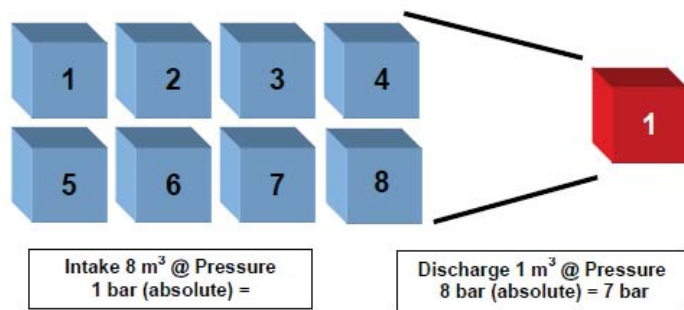


	Box A	Box B	Box C	Box D
P [Bar, abs]	8.01325	1.01325	1.01325	1.01325
T [C]	60	0	15	35
RH [%]	100	0	0	60
V [m ³]	0.1223	0.7730	0.8155	0.9023

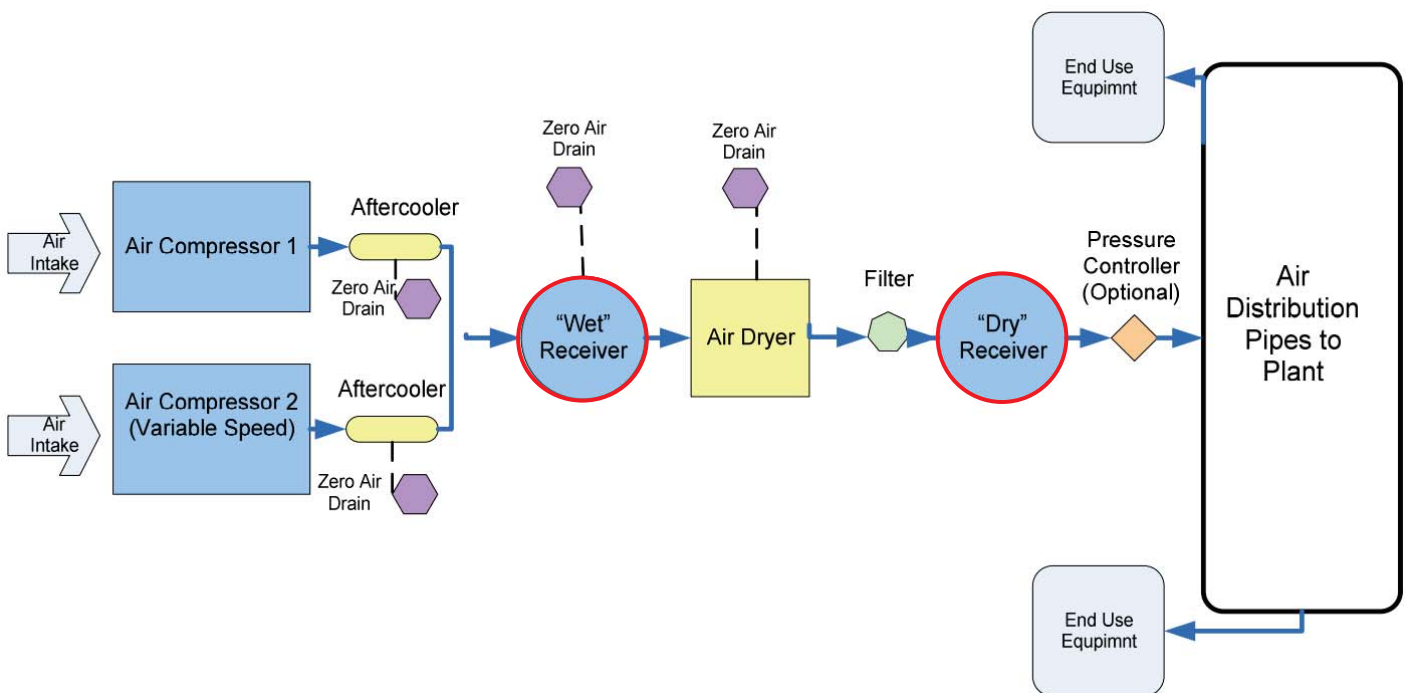
ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด



The act of compressing atmospheric air to 7 bar(g) creates an 800% increase in the concentration of contaminants.



ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด



Classes ISO8573- 1:2010	Particles			Water		Oil	
	Number of Particles per 1 m ³			Concentration mg/m ³	PDP °C	Liquid g/m ³	Aerosol mg/m ³
	0,1 - 0,5 µm	0,5 - 1 µm	1 - 5 µm				
0	Stronger than class "1", according to specification of manufacturer/user						
1	≤ 20000	≤ 400	≤ 10		≤ -70	0.0033	0,01
2	≤ 400000	≤ 6000	≤ 100		≤ -40	0.117	0,1
3		≤ 90000	≤ 1000		≤ -20	0.880	1
4			≤ 10000		≤ +3	5.953	5
5			≤ 100000		≤ +7	7.732	

ISO 8573-1:2010 [A:B:C]

where

A - is the purity class for particles

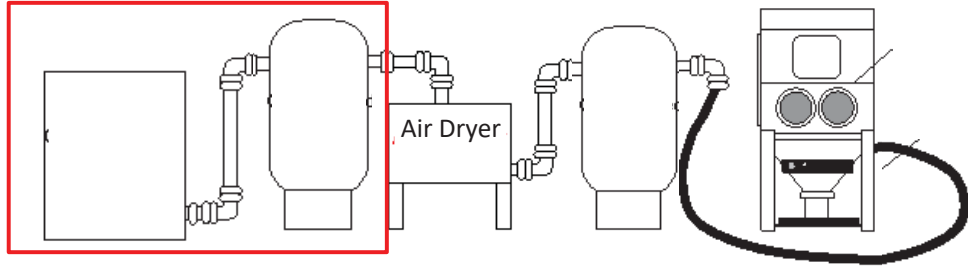
B - is the purity class for humidity and liquid water

C - is the purity class for the total oil content

Application Classes	Typical Quality Classes		
	Dirt	Water	Oil
Conveying, Powder Products	3	2	2
Fluidics, Power Circuits	4	4	4
Fluidics, Sensors	2-1	2	2
Foundry Machines	4	5	4
Food and Beverages	3	1	2
Hand-operated Air Tools	5-4	5-4	4
Machine Tools	3	5	4
Mining	5	5	4
Micro-electronics Manufacture	1	1	1
Packaging and Textile Machines	3	3	4
Photographic Film Processing	1	1	1
Pneumatic Cylinders	3	5	3
Pneumatic Tools	4	4	4
Process Control Instruments	2	3	2

Dew point °C	g/m ³	Dew point °C	g/m ³	Dew point °C	g/m ³	Dew point °C	g/m ³
+100	588,208	+58	118,199	+16	13,531	-25	0,55
99	569,071	57	113,130	15	12,739	26	0,51
98	550,375	56	108,200	14	11,987	27	0,46
97	532,125	55	103,453	13	11,276	28	0,41
96	514,401	54	98,883	12	10,600	29	0,37
95	497,209	53	94,483	11	9,961	30	0,33
94	480,394	52	90,247	10	9,356	31	0,301
93	464,119	51	86,173	9	8,784	32	0,271
92	448,308	50	82,257	8	8,243	33	0,244
91	432,885	49	78,491	7	7,732	34	0,220
90	417,935	48	74,871	6	7,246	35	0,198
89	403,380	47	71,395	5	6,790	36	0,178
88	389,225	46	68,056	4	6,359	37	0,160
87	375,471	45	64,848	3	5,953	38	0,144
86	362,124	44	61,772	2	5,570	39	0,130
85	340,166	43	58,820	1	5,209	40	0,117
84	336,660	42	55,989	0	4,868	41	0,104
83	324,469	41	53,274	-1	4,547	42	0,093
82	311,616	40	50,672	2	4,135	43	0,083
81	301,186	39	48,181	3	3,889	44	0,075
80	290,017	38	45,593	4	3,513	45	0,067
79	279,278	37	43,508	5	3,238	46	0,060
78	268,806	36	41,322	6	2,984	47	0,054
77	258,827	35	39,286	7	2,751	48	0,048
76	248,840	34	37,229	8	2,537	49	0,043
75	239,351	33	35,317	9	2,339	50	0,038
74	230,142	32	33,490	10	2,156	51	0,034
73	221,212	31	31,744	11	1,96	52	0,030
72	212,648	30	30,078	12	1,80	53	0,027
71	204,286	29	28,488	13	1,65	54	0,024
70	196,213	28	26,970	14	1,51	55	0,021
69	188,429	27	25,524	15	1,38	56	0,019
68	180,855	26	24,143	16	1,27	57	0,017
67	173,575	25	22,830	17	1,15	58	0,015
66	166,507	24	21,578	18	1,05	59	0,013
65	159,654	23	20,386	19	0,96	60	0,011
64	153,103	22	19,252	20	0,88	65	0,0064
63	146,771	21	18,191	21	0,80	70	0,0033
62	140,659	20	17,148	22	0,73	75	0,0013
61	134,684	19	16,172	23	0,66	80	0,0006
60	129,020	18	15,246	24	0,60	85	0,00025
59	123,495	17	14,367			90	0,0001

ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด



$$V_N = \frac{V_O \times T_N \times (P_A - (F_{rel} \times P_D))}{P_N \times T_O}$$

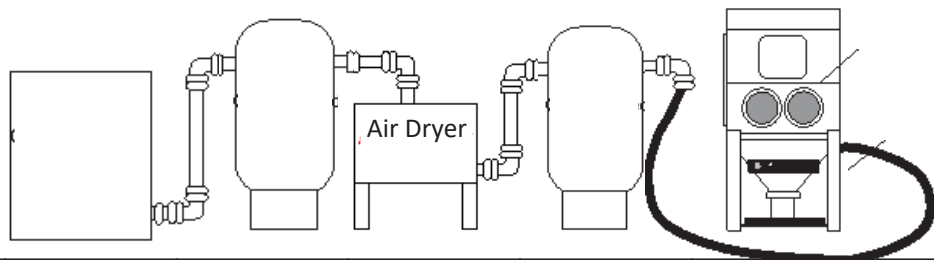
$$P_1 \times \left(\frac{V_1}{T_1} \right) = P_2 \times \left(\frac{V_2}{T_2} \right)$$

Where:

- V_N = Volume to DIN 1343
- V_O = Volume flow rating of the compressor
- T_N = Temperature to DIN 1343, 273.15°K
- T_O = Ambient temperature at installation in °K
- P_N = Absolute ambient air pressure to DIN 1343, 1.01325 bar
- P_A = Absolute ambient air pressure at installation in bar (a)
- F_{rel} = Relative humidity at installation
- p_D = Saturation pressure of the water vapor contained in the air in bar, related to the air temperature

°C	p_D	°C	p_D	°C	p_D
-10	0.0028	10	0.0123	30	0.0424
-9	0.0028	11	0.0131	31	0.0449
-8	0.0031	12	0.0140	32	0.0473
-7	0.0034	13	0.0150	33	0.0503
-6	0.0037	14	0.0160	34	0.0532
-5	0.0040	15	0.0170	35	0.0562
-4	0.0044	16	0.0182	36	0.0594
-3	0.0048	17	0.0194	37	0.0627
-2	0.0052	18	0.0206	38	0.0662
-1	0.0056	19	0.0220	39	0.0699
0	0.0061	20	0.0234	40	0.0738
1	0.0064	21	0.0245	41	0.0778
2	0.0071	22	0.0264	42	0.0820
3	0.0074	23	0.0281	43	0.0864
4	0.0081	24	0.0298	44	0.0910
5	0.0087	25	0.0317	45	0.0968
6	0.0094	26	0.0336	46	0.1009
7	0.0100	27	0.0356	47	0.1061
8	0.0107	28	0.0375	48	0.1116
9	0.0115	29	0.0400	49	0.1174
				50	0.1234

ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด

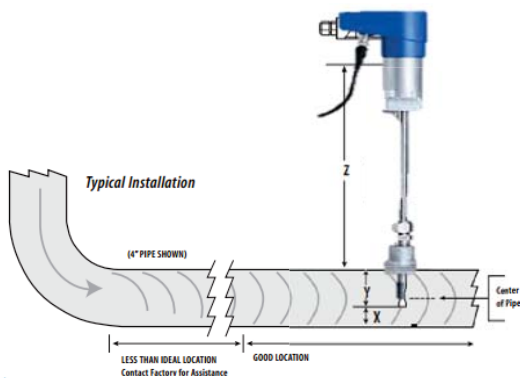
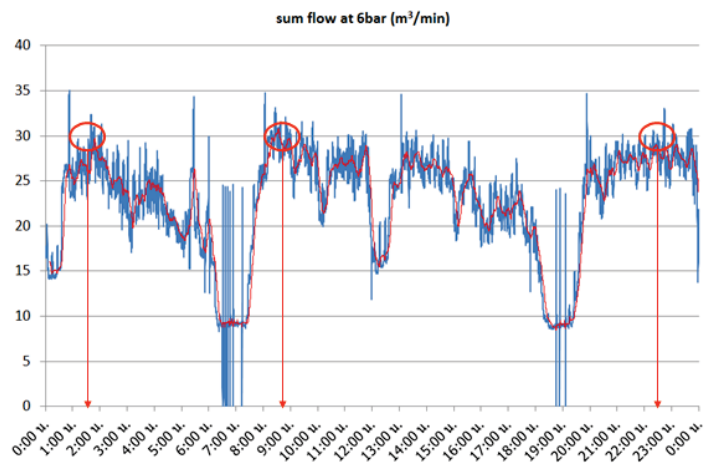


	0 Bar,g	7 Bar,g	7 Bar,g	7 Bar,g	7 Bar,g	3 Bar,g	0 Bar,g
m ³ /min	12.6	1.698	1.645	1.540	1.566	3.179	12.59
%RH	70.0	100	100	100	73.8	27.6	6.97
C	30.0	50	40	20	25	30	30
g/m ³ sat	30.078	82.257	50.672	17.148	22.830	30.078	30.078
g/min	265.288	265.288	139.672	83.355	26.408	26.408	26.408
g/min sat	265.288	139.672	83.355	26.408	35.752	95.618	378.682
g/min,d	0.000	125.616	56.317	56.948	0.000	0.000	0.000
g/m ³ atm	21.05	10.41	6.41	2.17	2.13	2.097	2.097

ความรู้พื้นฐาน ระบบอากาศอัด

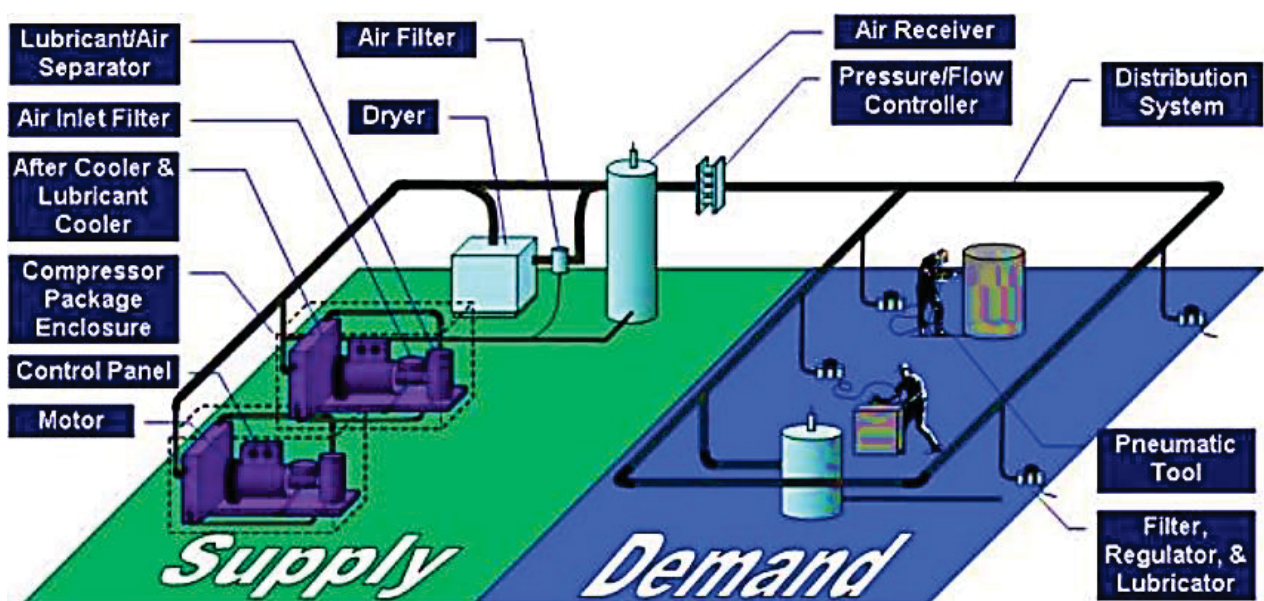
Measure, Manage and Save

- Identify efficiency improvements
- Monitor system performance
- Leak management
- Air consumption cost allocation



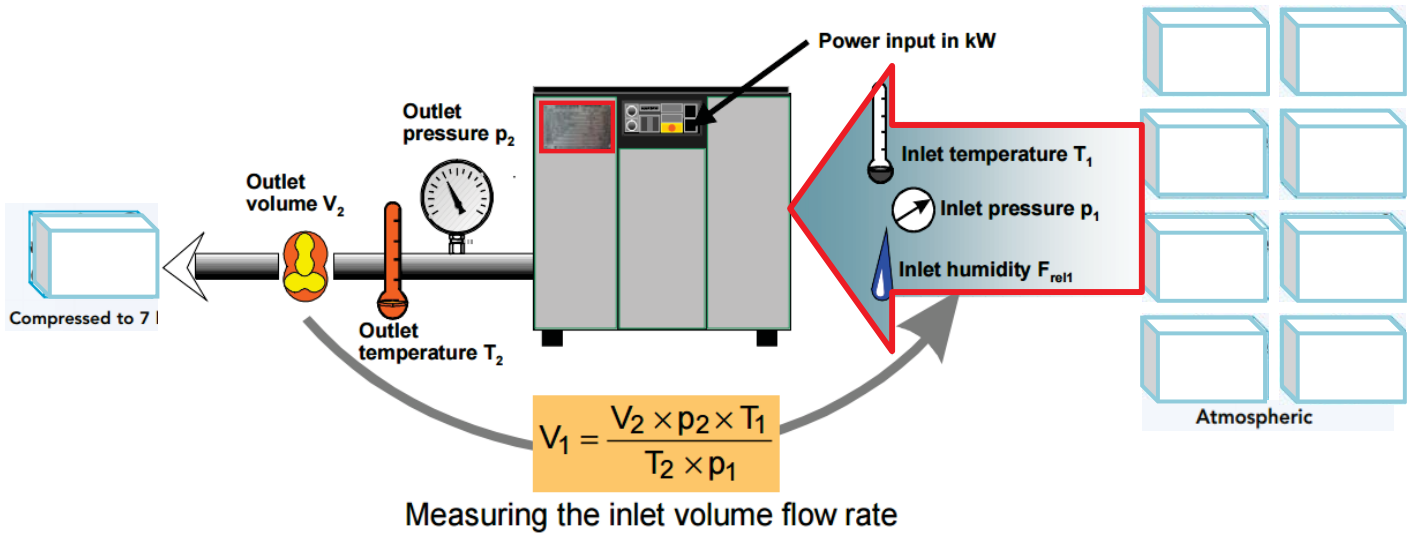
Triple E Technology CO.,LTD.
บริษัท ทริปเปิ้ล อี เทคโนโลยี จำกัด

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ระบบอากาศอัด



ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ระบบอากาศอัด

$$\left(\frac{PV}{T}\right)_{\text{at 1}} = \left(\frac{PV}{T}\right)_{\text{at 2}}$$



ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ระบบอากาศอัด

Standard conditions according to DIN 1343

Standard volume	<input type="text" value="1"/>	m ³	
	<input type="text" value="35.311"/>	scf	
	<input type="text" value="1.294"/>	kg	
Relative humidity	<input type="text" value="0"/>	%	
Temperature	<input type="text" value="0"/>	°C / <input type="text" value="32"/>	°F
Pressure	<input type="text" value="101.325"/>	kPa	
	<input type="text" value="14.696"/>	psia	

Standard conditions according to ISO 2533

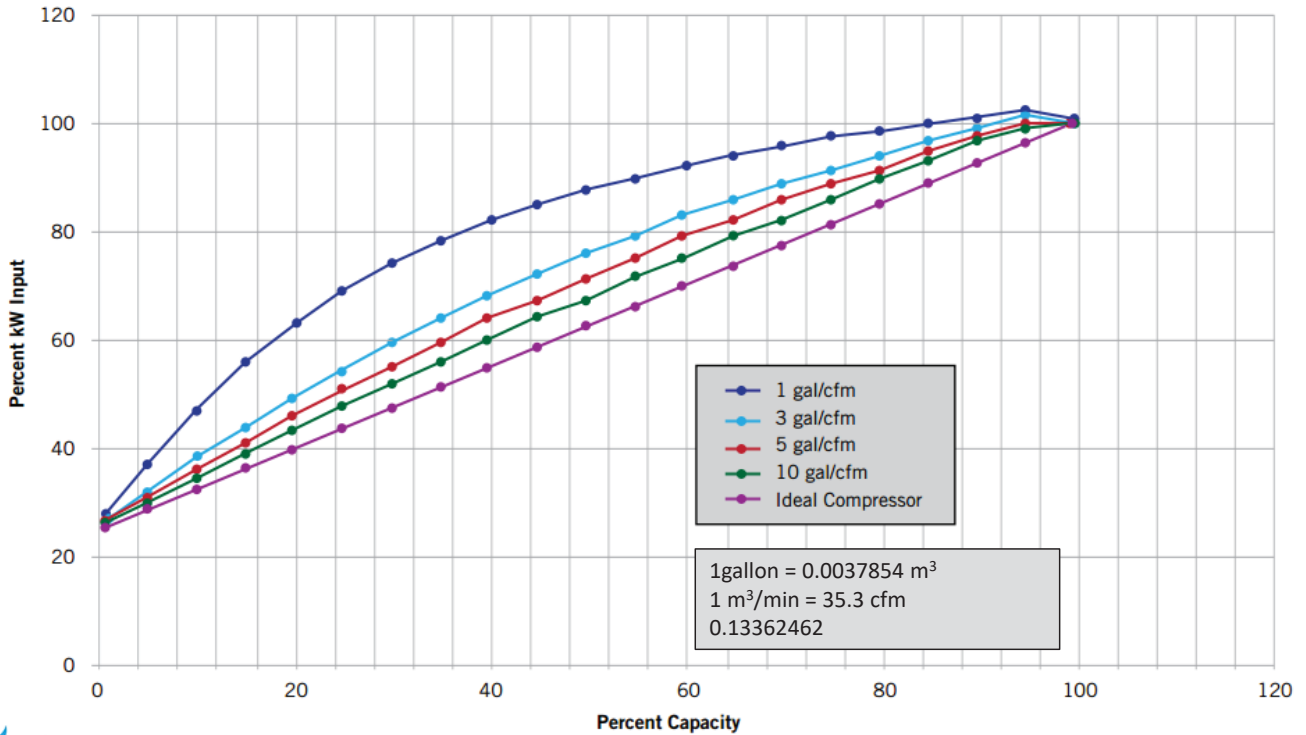
Standard volume	<input type="text" value="1.0549"/>	m ³	
	<input type="text" value="37.2498"/>	scf	
	<input type="text" value="1.294"/>	kg	
Relative humidity	<input type="text" value="0"/>	%	
Temperature	<input type="text" value="15"/>	°C / <input type="text" value="59"/>	°F
Pressure	<input type="text" value="101.325"/>	kPa	
	<input type="text" value="14.696"/>	psia	

Actual values

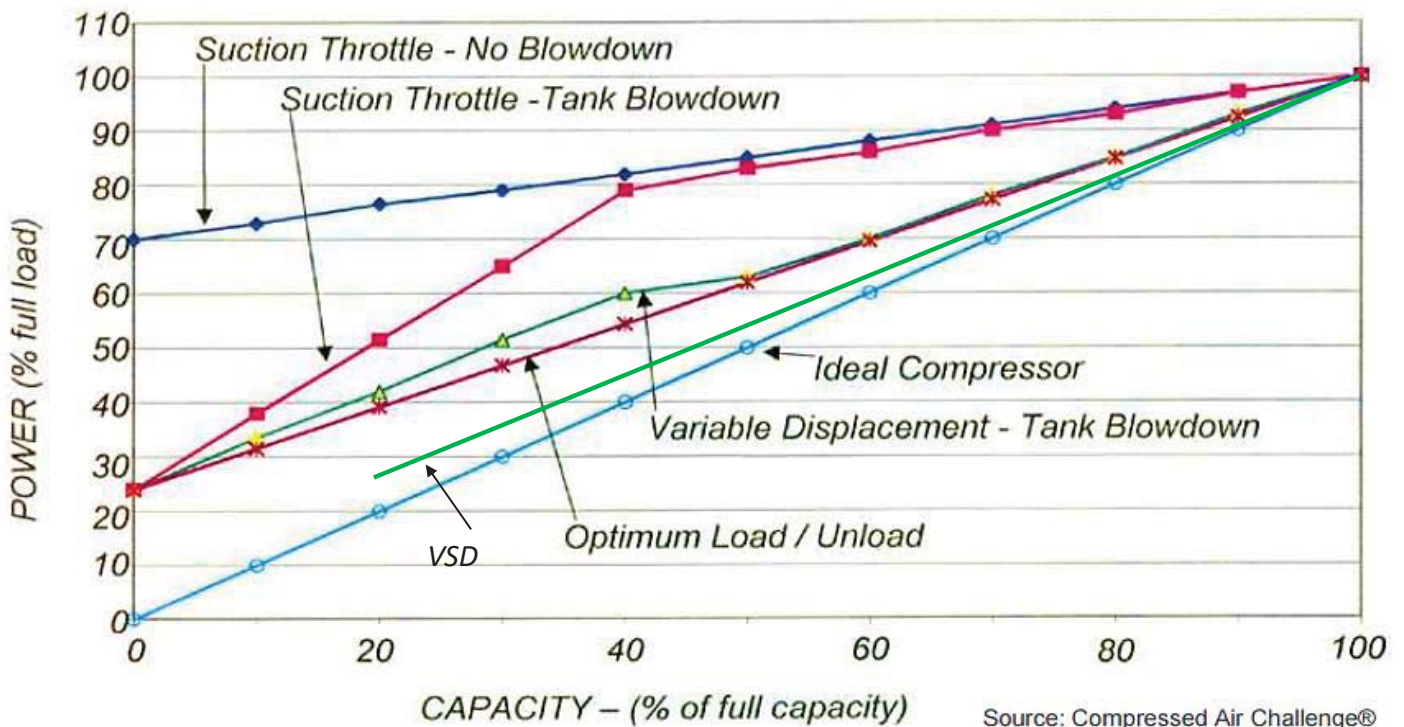
Volume	<input type="text" value="1.1436"/>	m ³	Relative humidity	<input type="text" value="70"/>	%
	<input type="text" value="40.38136"/>	ft ³			
Altitude	<input type="text" value="0"/>	m			
Pressure	<input type="text" value="101.3"/>	kPa	Temperature	<input type="text" value="30"/>	°C
	<input type="text" value="1013"/>	mbar		<input type="text" value="303.15"/>	K
	<input type="text" value="14.6885"/>	psia		<input type="text" value="86"/>	°F
	<input type="text" value="1.0333"/>	at			
	<input type="text" value="1.0029"/>	atm			
	<input type="text" value="10332.6"/>	mm water column			
	<input type="text" value="759.75"/>	Torr	Water vapor pressure	<input type="text" value="42.414"/>	mbar(a)

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ระบบอากาศอัด

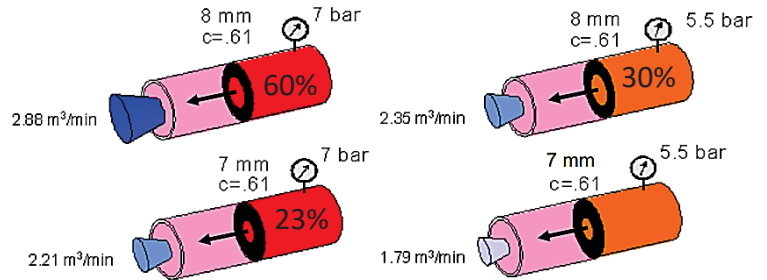
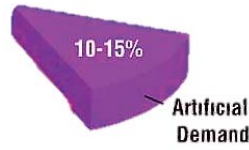
AVERAGE KW VS. AVERAGE CAPACITY WITH LOAD/UNLOAD CAPACITY CONTROL



ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ระบบอากาศอัด



ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ระบบอากาศอัด



ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ระบบอากาศอัด

In small compressed air systems, shutting off all air use and measuring the time required for the pressure to drop can determine the leak rate. The formula for this method is:

$$V_L = \frac{V_R \times (P_I - P_F)}{T}$$

- Where:
- V_L = Leak volume
 - V_R = Storage volume
 - P_I = Initial pressure
 - P_F = Final pressure
 - T = Measuring period (time)

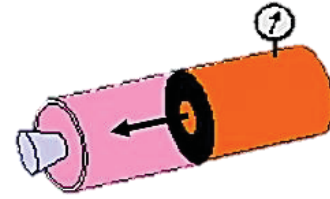
In larger systems, the approximate amount of leakage can be determined by shutting off all of the air use and measuring the load cycle of a supply compressor.

The formula used for this method is:

$$V_L = \frac{V_C \times t}{T}$$

- Where:
- V_L = Leak volume
 - V_C = Compressor volumetric flow rate in m3/min
 - t = Loaded run time of the compressor
 - T = Total measuring period (time)

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ระบบอากาศอัด



Calculator: Air Flow Rate through an Orifice

TLV ToolBox - For iOS and Android

Input Data

Air Temperature: 40 °C

Primary Pressure: 0.25 barG

Secondary Pressure: 0 barG

Diameter of Orifice: 1.2 mm

Discharge Coefficient [?]: 0.9

Units: SI(bar)

Calculate Clear

The standard volume is calculated on the basis of standard conditions:
 at a pressure of 101.325 kPa (760 Torr) and
 DIN 1343 : at a temperature of 273.15K (0°C / 32°F)
 ISO 2533 : at a temperature of 288.15K (15°C / 59°F)

Standard conditions according to DIN 1343

Standard volume	11.7643 m³	Volume	14 m³	Relative humidity	50 %
	415.4061 scf		494.35028 ft³		
	15.223 kg				

Standard conditions according to ISO 2533

Standard volume	12.4103 m³	Pressure	101.3 kPa	Temperature	40 °C
	438.2179 scf		1013 mbar		313.15 K
	15.223 kg		14.6885 psia		104 °F

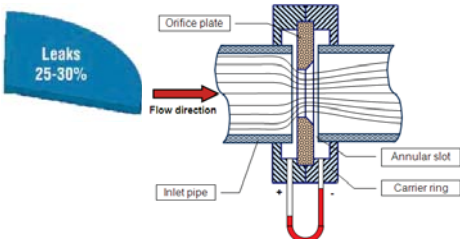
Actual values

Volume	14 m³	Relative humidity	50 %
	494.35028 ft³		
Altitude	0 m		
Pressure	101.3 kPa	Temperature	40 °C
			313.15 K
			104 °F
Standard volume	12.4103 m³		
	438.2179 scf		
	15.223 kg		
Relative humidity	0 %		
Temperature	15 °C / 59 °F		
Pressure	101.325 kPa		
	14.696 psia		
		10332.6 mm water column	
		759.75 Torr	
			Water vapor pressure
			73.746 mbar(a)

Result

Air Flow Rate (Normal) 0.0119962 Nm³/min

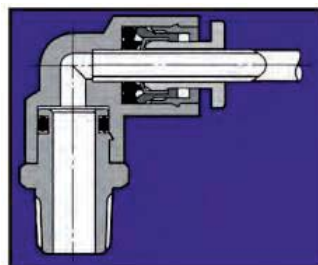
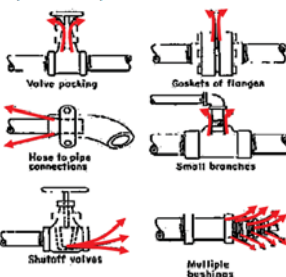
ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ระบบอากาศอัด



$$Q_a = \frac{1}{60} \cdot 4.17 \cdot C \cdot \left(\frac{d_o}{4.654} \right)^2 \cdot p_1 \cdot \left(1 - \frac{p_2}{p_1} \right) \cdot \sqrt{\frac{p_1 - p_2}{T_a + 273.15}}$$

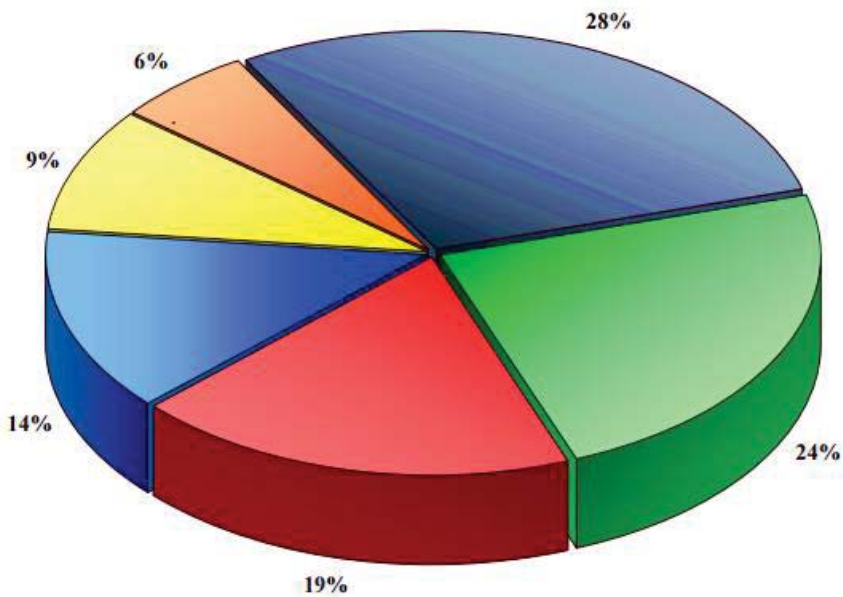
Ta: Air Temperature (°C)
 p1: Primary Pressure (kPa abs)
 p2: Secondary Pressure (kPa abs)
 do: Diameter of Orifice (mm)
 C : Discharge Coefficient
 Qa: Air Flow Rate (Normal)
 (Nm³/min)

Perssure	d = 0.5 mm		d = 1.0 mm		d = 3.0 mm		d = 5.0 mm		
	Bar,g	Nm3/hr	Baht/hr	Nm3/hr	Baht/hr	Nm3/hr	Baht/hr	Nm3/hr	Baht/hr
3		0.447	0.18	1.788	0.72	16.090	6.44	44.696	17.88
5		0.670	0.27	2.679	1.07	24.109	9.64	66.970	26.79
7		0.892	0.36	3.570	1.43	32.128	12.85	89.243	35.70
9		1.115	0.45	4.461	1.78	40.146	16.06	111.518	44.61
11		1.338	0.54	5.352	2.14	48.165	19.27	133.792	53.52
13		1.561	0.62	6.243	2.50	56.184	22.47	156.065	62.43
15		1.783	0.71	7.134	2.85	64.202	25.68	178.340	71.34



ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ระบบอากาศอัด

Leaks by % of total CFM



- Valve
- FRL Combination
- Fitting
- Hosing/Tubing
- Actuator/Cylinder
- Other



การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด

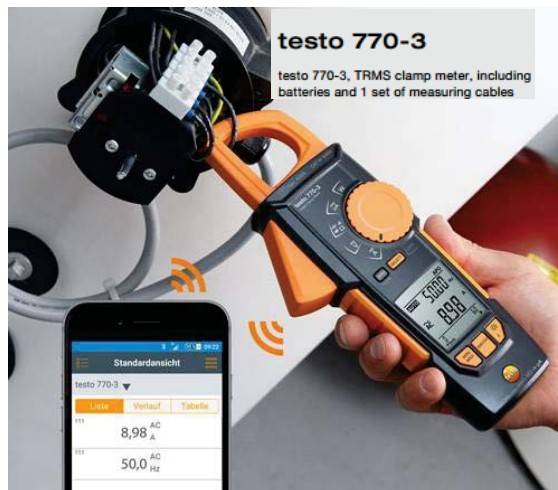
VP
INSTRUMENTS

Measure, Monitor, Manage



Compressed air energy savings identified

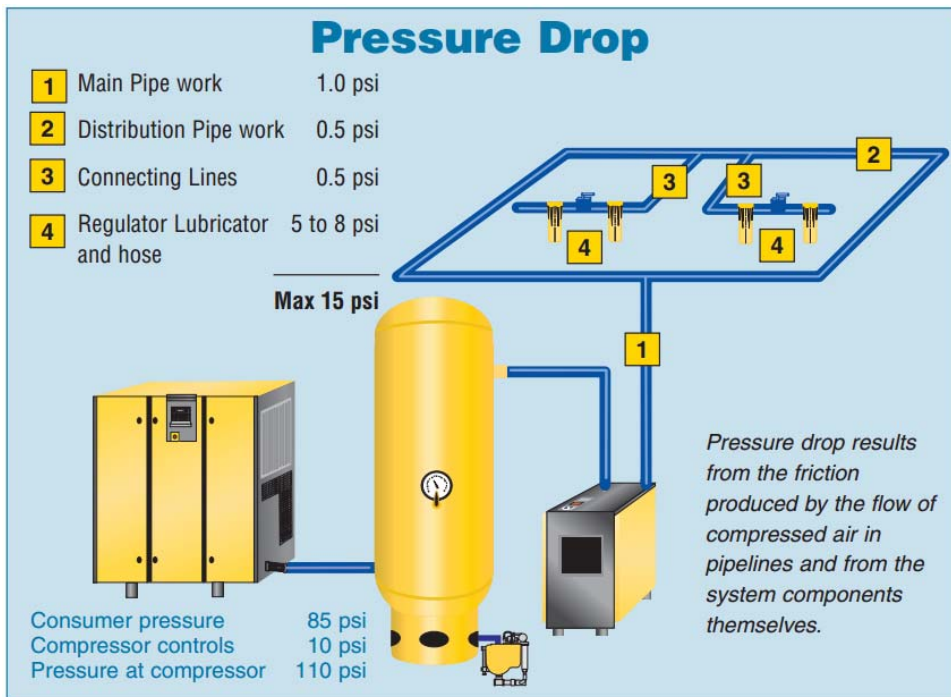
With the three in one VPFlowScope.



testo 770-3

testo 770-3, TRMS clamp meter, including batteries and 1 set of measuring cables

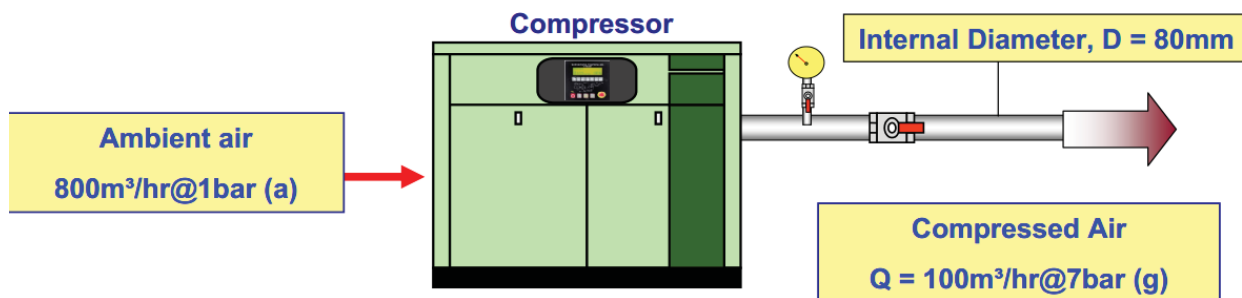
การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด



Compressed air velocity should be kept to:

- 5 meters per second in the compressor room
- 6 meters per second in the main header
- 15 meters per second in the air drops

การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด

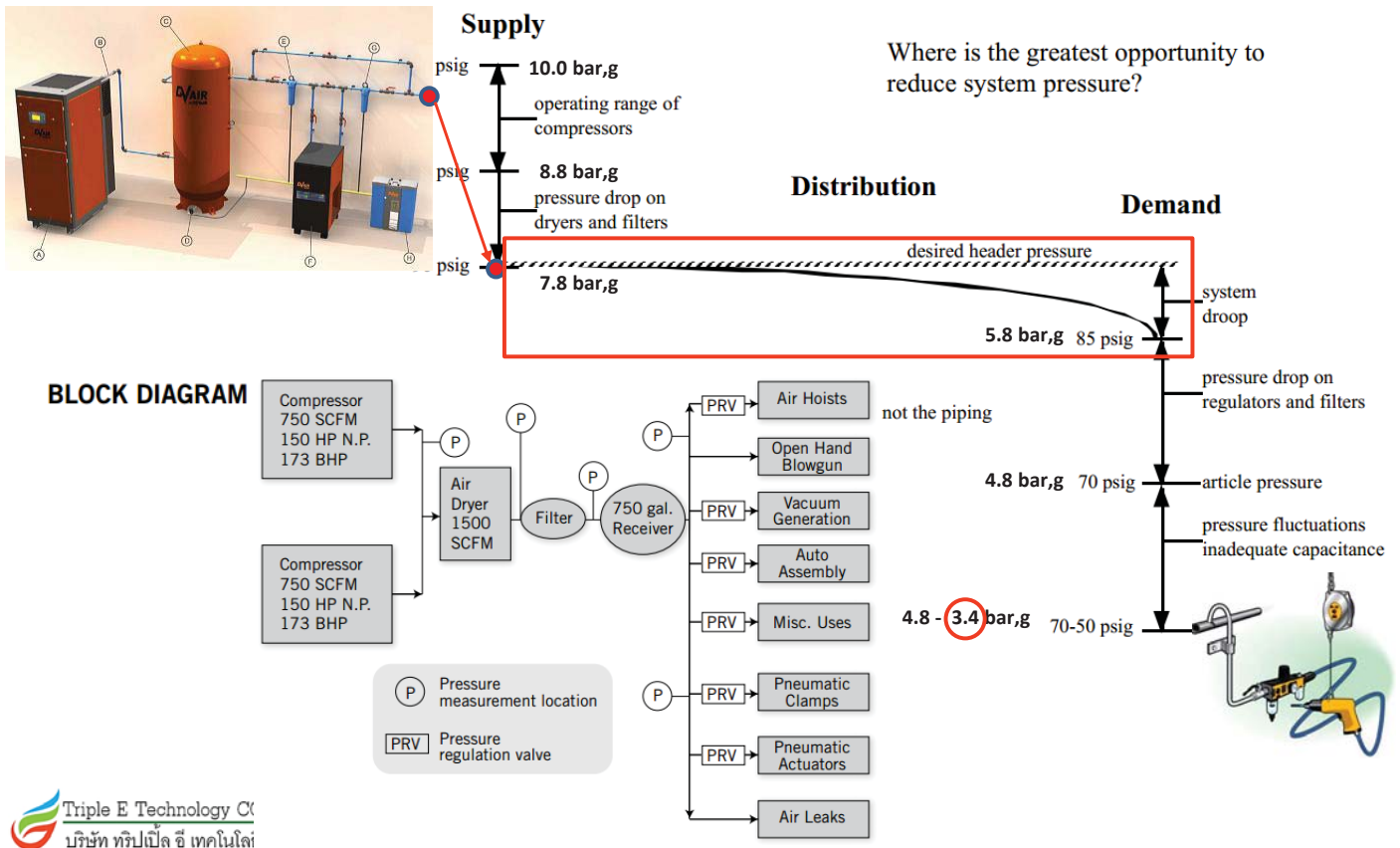


<p>Velocity of compressed air , v</p> <p>= Q / A flow rate pipe</p> <p>= Q ÷ (¼ π D²)</p> <p>= 100 ÷ (¼ x 3.142 x 0.080²)</p> <p>= 19,882m/hr or 5.5m/s</p>	<p>Where,</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Q = Volume flow rate ❖ A = Cross section area of pipe
--	---

Compressed air velocity should be kept to:

- 5 meters per second in the compressor room
- 6 meters per second in the main header
- 15 meters per second in the air drops

การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด



การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด

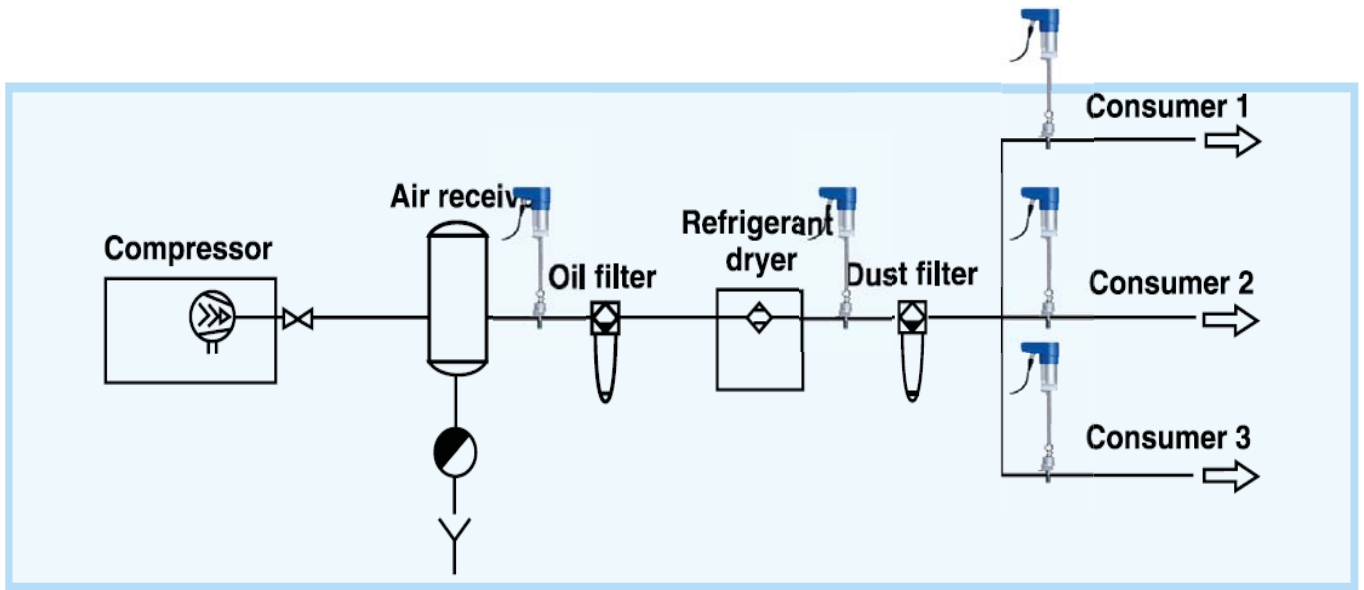
Useable compressed air available from storage is the product of pressure differential and available storage volume. The formula for determining the amount of useable air storage is:

$$V_a = V_s \times \left(\frac{P_{max} - P_{min}}{P_{amb}} \right)$$

Where:

- Q = the flow rate in liters per second
- V_a = Useable compressed air in storage
- V_s = Total volume of storage system
- P_{max} = Maximum storage or receiver pressure (cut-out pressure)
- P_{min} = Minimum storage or receiver pressure required (cut-in pressure)
- P_{amb} = Absolute ambient air pressure

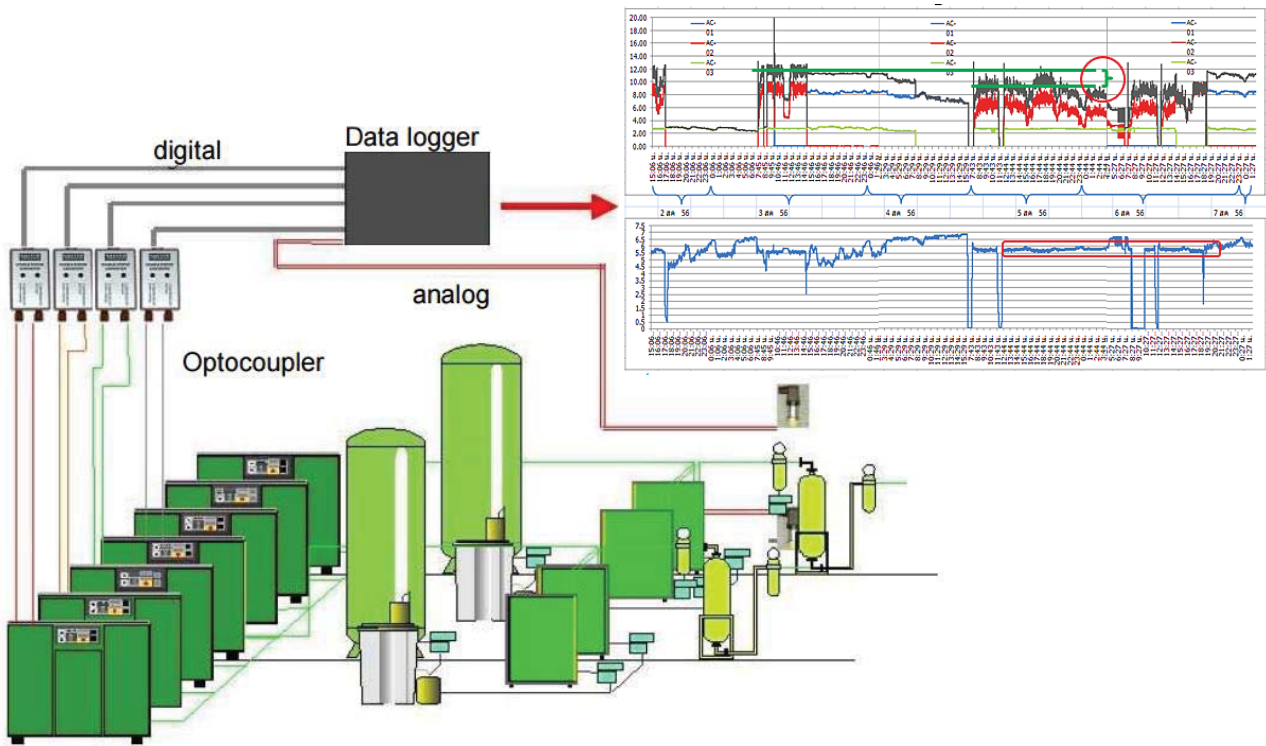
การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด



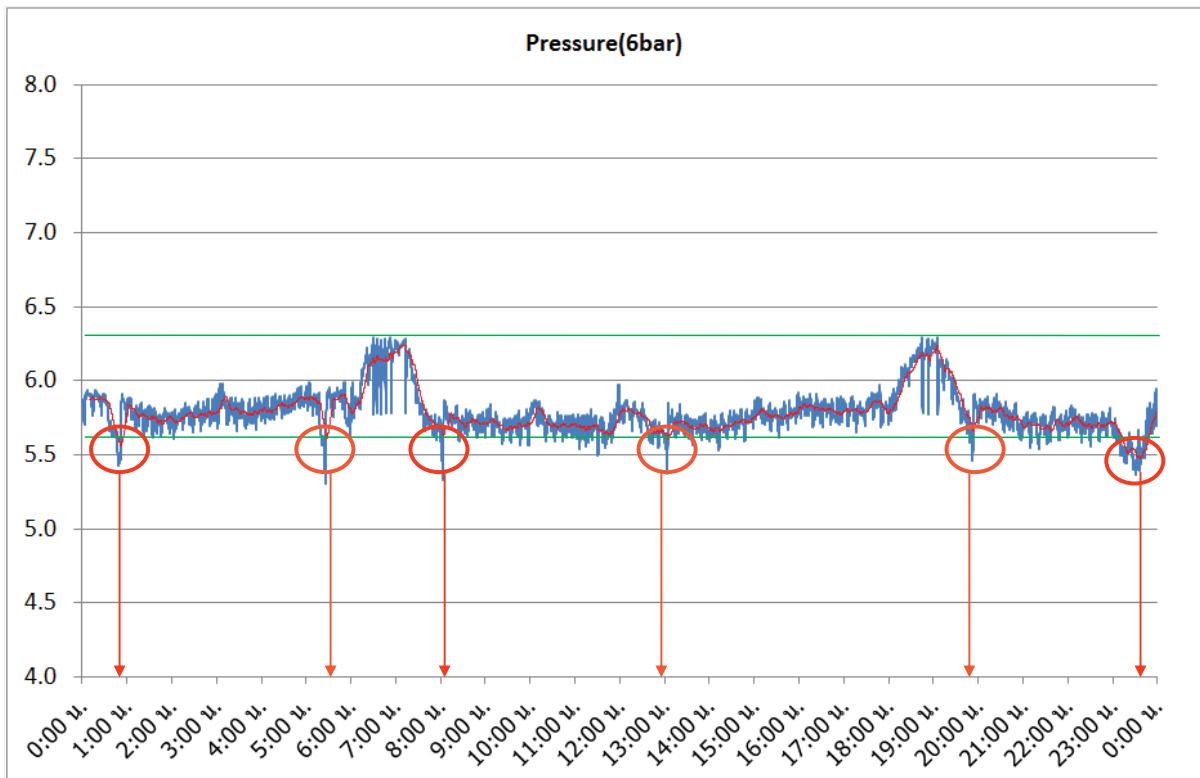
การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด



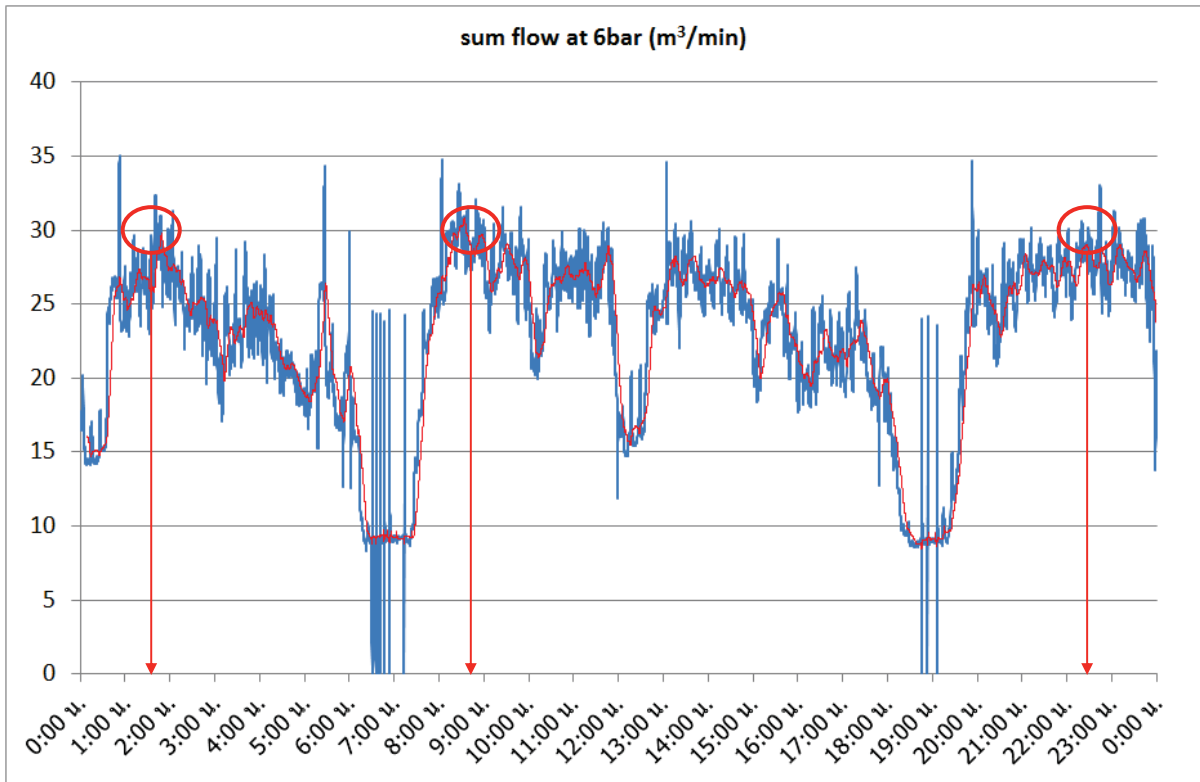
การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด



การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด



การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด



การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด

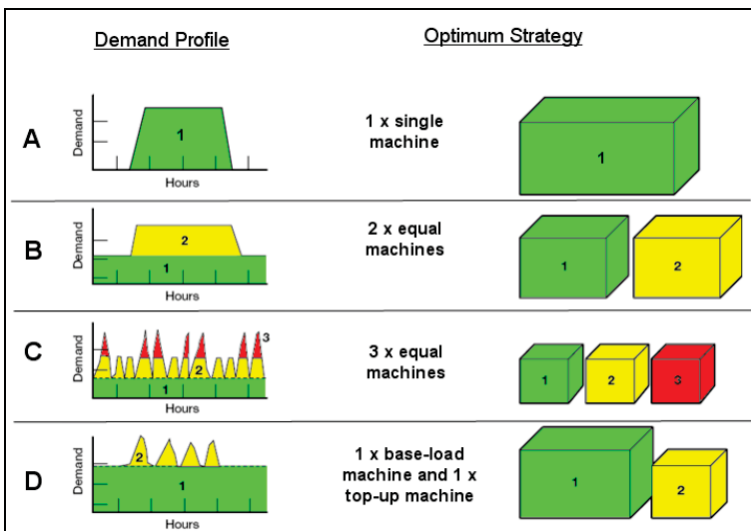
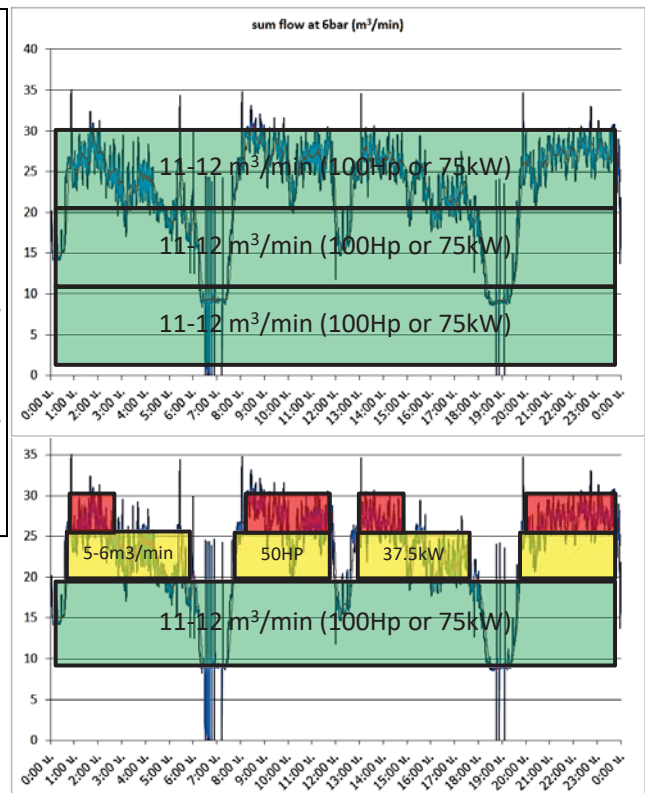


Figure 6 – Optimum Compressor Sequencing Strategies to meet Demand Profile



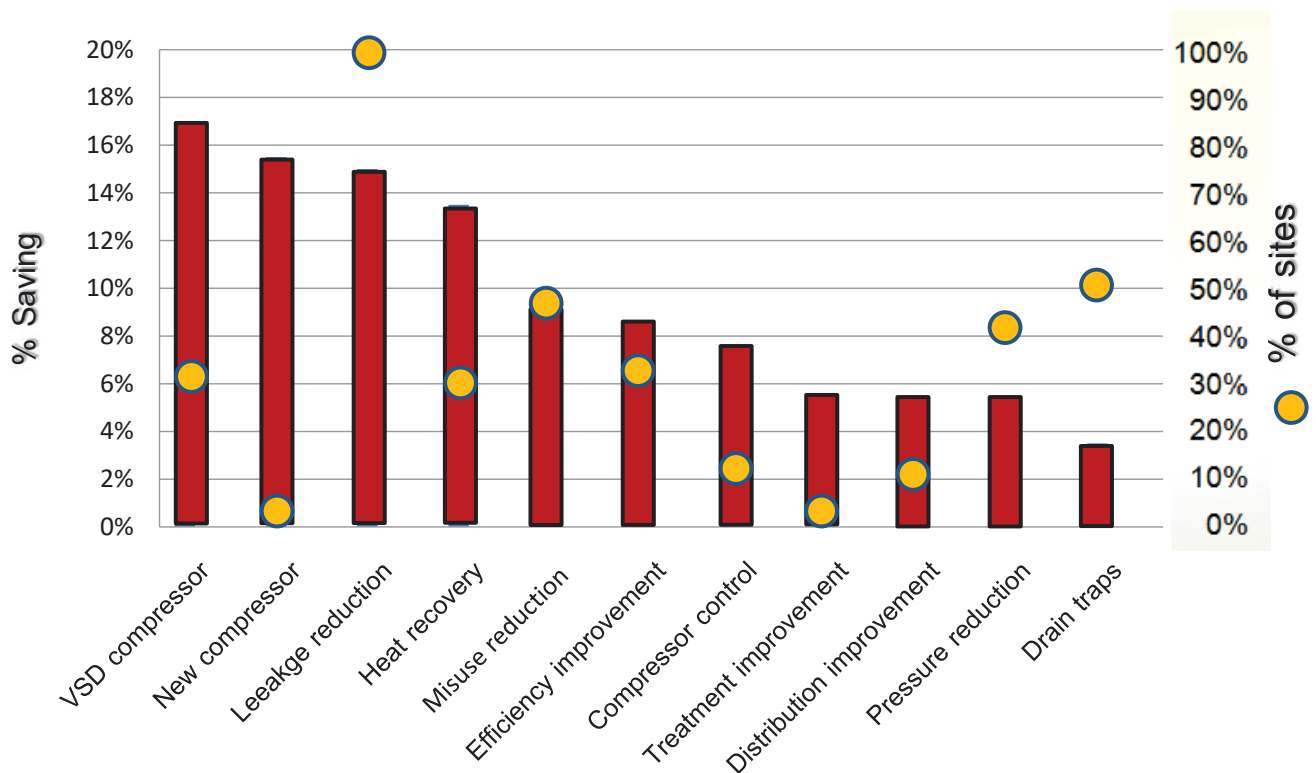
การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด

No.	GA1	GA2	GA3	GA10	GA45	RC1	RC2	Total
Brand	Atlas	Atlas	Atlas	Atlas	Atlas	RotorComp	RotorComp	
Type	GA18	GA18	GA18vsd	GA18Plus	GA45	DS150-45	DS150-45	
P_max (bar)	10	10	13	13	10	9	9	
FAD (m3/min)	2.7	2.7	3.35	2.35	7.28	7.3	7.3	34.32
Power (kW)	18.5	18.5	18.5	18.5	45	45	45	220.00
Pipe output (in)	1	1	1	1	1.5	2	2	
kW/m3 (spec.)	0.1142	0.1142	0.0920	0.1312	0.1030	0.1027	0.1027	0.1068
kW (On-load)	20.57	20.57	20.57	22.25	52.56	43.41	44.10	235.03
kW (Off-load)	8.23	8.23	8.23	8.90	21.02	17.36	17.64	94.01
Load factor	100%	50%	90%	90%	90%	90%	90%	87%
FAD (test)	2.7	2.7	3.35	2.35	7.28	7.3	7.3	34.32
RUN (work)	1	1	0	1	1	1	1	
RUN (Leak)	0	1	0	0	1	1	0	
Receiver Tank	2.7	2.7	0	2.35	7.28	7.3	7.3	29.63
Demand (m3/hr)	162.00	81.00	180.90	126.90	393.12	394.20	394.20	1,804.68
Demand (m3/year)	972,000.00	486,000.00	1,085,400.00	761,400.00	2,358,720.00	2,365,200.00	2,365,200.00	10,828,080.00
kW/m3 (Cal.)	0.1270	0.1778	0.1069	0.1648	0.1257	0.1035	0.1051	0.1204
kW/m3 (Plus)	11.2%	55.7%	16.1%	25.6%	22.0%	0.8%	2.3%	15.8%
kWh (run)	20.57	14.40	19.34	20.91	49.40	40.81	41.45	217.22
kWh/year (Work)	123,434.51	86,404.16	-	125,480.33	296,425.70	244,834.64	248,697.69	1,125,277.03
Baht/year (work)	493,738.05	345,616.64	-	501,921.30	1,185,702.79	979,338.57	994,790.74	4,501,108.10
kWh/year (Leak)	-	86,404.16	-	-	296,425.70	244,834.64	-	627,664.50
Baht/year (Leak)	-	345,616.64	-	-	1,185,702.79	979,338.57	-	2,510,658.00

การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด



การตรวจวัดแนวทางการอนุรักษ์พลังงาน ระบบอากาศอัด



“หัวใจการลดต้นทุนในระบบอากาศอัดคือ?”

ความรู้เชิงเทคนิค

การสื่อสารภายใน

ความตั้งใจปรับปรุง

