

Den lille grønne om trykluft



24 timer's service

Granzow A/S har en af Danmarks største og ældste serviceafdelinger. Alle vore service-teknikere er certificerede, så vi sikrer vores kunder den største driftssikkerhed.

Afdelingen udfører alle typer service og reparationsopgaver, både når det gælder service af komponenter og vedligehold af anlæg.

Med servicecentre i Glostrup og Løsning, samt et stort antal kørende værksteder, kan vi med kort varsel yde professionel service i hele landet - døgnet rundt.

- Service- og vedligeholdelsessystemer
- Service af delkomponenter
- Anlægsservice
- Rådgivning

Ring døgnet rundt på telefon

70 13 26 00

*Alle rettigheder tilhører GRANZOW A/S.
Eftertryk kun med tilladelse fra GRANZOW A/S.*

Indhold	Kapitel	Side
Kapitel 1 Grundlæggende om trykluft	1.1 Trykluftens historie	1
	1.1.1 Trykluftens oprindelse	1
	1.1.2 Den første anvendelse af trykluft	2
	1.2 Enheder og formelsymboler for trykluft	6
	1.2.1 Grundlæggende enheder	6
	1.2.2 Trykluft enheder	6
	1.3 Hvad er trykluft ?	7
	1.3.1 Luftens sammensætning	7
	1.3.2 Trykluftens egenskaber	7
	1.3.3 Hvordan virker tryklufften ?	7
	1.4 Fysiske grundtræk	8
	1.4.1 Temperatur	9
	1.4.2 Volumen	9
	1.4.3 Tryk	10
	1.4.3 Volumenstrøm	11
1.5 Trykluft i bevægelse	13	
1.5.1 Trykluftstrømmens virkning	13	
1.5.2 Strømningstyper	13	
Kapitel 2 Anvendelsesområder for pneumatik	2.1 Trykluftens fordele	14
	2.2 Tryksområder	17
	2.3 Mulige anvendelsesområder for trykluft	18
	2.3.1 Fastspænding og stramning med trykluft	18
	2.3.2 Transport med trykluft	18
	2.3.3 Pneumatiske drevsystemer	19
	2.3.4 Sprøjtning med trykluft	19
	2.3.5 Afblæsning og rensning med trykluft	19
2.3.6 Afprøvning og kontrol med trykluft	20	
2.3.7 Trykluft til processtyringl	20	
2.4 Eksempler på speciel anvendelse	21	
Kapitel 3 Maskiner til fremstilling af trykluft	3.1 Kompressorer (Kompaktorer)	24
	3.1.1 Dynamiske kompressorer (Turbo-kompressorer)	24
	3.1.2 Fortrængnings kompressorer	24
	3.2 Kompressortyper	25
	3.2.1 Standard kompressorer	26
	3.2.2 Stempel (reciprokerende) kompressorer	27
	3.2.3 Membran kompressorer	29
	3.2.4 Fristempel kompressorer	30
	3.2.5 Rotations lamel kompressorer	31
	3.2.6 Væskerings kompressorer	32
	3.2.7 Skruekompressorer	33
3.2.8 Roots kompressorer	34	
3.2.9 Aksial kompressorer	35	
3.2.10 Radial kompressorer	36	

Kapitel	Side
3.3 Stempelkompressorer	37
3.3.1 Generelt	37
3.3.2 Sugekapacitet - Ydelse	38
3.3.3 Køling	39
3.3.4 Kølemedie	40
3.3.5 Styring af stempelkompressorer	40
3.3.6 Fordele ved stempelkompressorer	40
3.3.7 Komponenter på en stempelkompressor	41
3.4 Skruekompressorer	42
3.4.1 Generelt	42
3.4.2 Kompressions processen	42
3.4.2 Driftsmetode	43
3.4.3 Oliekredsløb	44
3.4.4 Pneumatisk kredsløb	45
3.4.5 Varmegenvinding	46
3.4.6 Indsugnings styring	46
3.4.7 Fordele ved skruekompressorer	46
3.4.8 Komponenter til en skruekompressor	47
3.5 Komponenter	48
3.5.1 Drivmotor	48
3.5.2 Drivremme	48
3.5.3 Remspænding	48
3.5.4 Suge- og trykventiler	49
3.5.5 Sikkerhedsventil	49
3.5.6 Sugefilter	49
3.6 Kompressor smøre- og kølemidler	50
Kapitel 4	
Styring af kompressorer	
4.1 Definition af tryk	51
4.2 Driftsstatus	52
4.2.1 Standset (L_0)	52
4.2.2 Ubelastet tomgang (L_1)	52
4.2.3 Dellast	53
4.2.4 Belastet drift (L_2)	53
4.3 Styring af separat kompressor	54
4.3.1 Intermitterende styring	54
4.3.2 Tomgangsstyring	54
4.3.3 Forsinket intermitterende styring	55
4.3.4 Dellast styring	56
4.3.4.1 Trinløs styring af ydelse	56
4.3.4.2 Frekvensstyring	56
4.4. ARS styringens egenskaber	58
4.4.1 Basic	59
4.4.2 Ratio	59
4.4.3 Prime	59

Kapitel	Side
4.5 Samtidig styring af flere kompressorer	60
4.5.1 MCS 1 and MCS 2	60
4.5.2 MCS 3	61
4.5.3 MCS 4	62
4.5.4 MCS 5	63
4.5.5 MCS 6	64
4.5.6 MCS 7	65
Kapitel 5	
Trykluft efterbehandling	
5.1 Hvorfor efterbehandling ?	66
5.1.2 Planlægnings vejledning	67
5.1.3 Følgerne af dårlig efterbehandling	68
5.1.3 Urenheder i luften	69
5.2 Vand i tryklufften	70
5.2.1 Fugtighed i atmosfæren	70
5.2.2 Dugpunkter	71
5.2.3 Luftens indhold af vanddamp	71
5.2.4 Kondensatmængde under kompressionen	72
5.2.5 Eksempel på beregning af kondensatmængde	73
5.2.6 Kondensatmængde på en fugtig sommerdag	74
5.2.7 Fastlæggelse af trykdugpunktet	75
5.2.8 Trykdugpunkt efter ekspansion	76
5.3 Trykluftkvalitet	77
5.3.1 Kvalitetsklasser i h.t. DIN ISO 8573-1	77
5.4 Tørringsmetoder	78
5.4.1 Driftsforhold	79
5.4.2 Kondensation ved overtryk	80
5.4.3 Kondensation ved køletørring	81
5.4.4 Diffusion ved membrantørring	82
5.4.5 Udskilning ved absorption	83
5.4.6 Udskilning ved adsorption	84
5.4.6.1 Kold regenerering	85
5.4.6.2 Intern varm regenerering	86
5.4.6.3 Ekstern varm regenerering	87
5.4.6.4 Vakuumberegning	88
5.4.7 Placering af trykluft køletørrer	89
5.4.7.1 Køletørrer før trykluftbeholder	89
5.4.7.2 Køletørrer efter trykluftbeholder	90
5.5 Trykluffiltre	91
5.5.1 Terminologi om filtre	91
5.5.1.1 Filter udskilningsgrad η [%]	91
5.5.1.2 Tryktab Δp	92
5.5.1.3 Driftstryk	92
5.5.2 Støvudskillere	93
5.5.3 Forfiltre	94
5.5.4 Mikrofiltre	95
5.5.5 Filtre med aktivt kulstof	97
5.5.6 Adsorption med aktivt kulstof	98
5.5.7 Sterilfiltre	99

	Kapitel	Side
Kapitel 6		
Fjernelse af kondensat	6.1 Kondensat	100
	6.2 Kondensatdræn	101
	6.2.1 Kondensatdræn med håndbetjente ventiler	102
	6.2.2 Kondensatdræn med svømmersstyring	102
	6.2.3 Kondensatdræn med tidsstyrede magnetventiler	103
	6.2.4 Kondensatdræn med elektronisk volumenstyring	104
	6.2.5 Kondensatdræn med niveaustyring	105
	6.3 Kondensatbehandling	106
	6.3.1 Olie-vandudskillere	107
Kapitel 7		
Tryklufforbrug	7.1 Tryklufforbrug af pneumatisk udstyr	108
	7.1.1 Tryklufforbrug af dyser	108
	7.1.1.1 Tryklufforbrug af cylindriske dyser	109
	7.1.1.2 Tryklufforbrug af malepistoler	110
	7.1.1.3 Tryklufforbrug af jet-dyser	111
	7.1.2 Tryklufforbrug af cylindre	112
	7.1.3 Tryklufforbrug af værktøjer	113
	7.2 Fastlæggelse af tryklufforbruget	115
	7.2.1 Gennemsnitlig driftstid	115
	7.2.2 Samtidsfaktor	116
	7.2.3 Definerings af det samlede tryklufforbrug	117
	7.2.3.1 Automatisk trykluffudstyr	117
	7.2.3.2 Generelt trykluffudstyr	118
	7.2.3.3 Totalt tryklufforbrug	118
	7.2.4 Margen for imødegåelse af tab og reserve	119
	7.2.5 FAL krævet L_B	119
	7.3 Tryklufftab	120
	7.3.1 Omkostninger på grund af tryklufftab	120
	7.3.2 Mængdebestemmelse af lækagetab	121
	7.3.2.1 Bestemmelse af lækagetab ved tømning af trykbeholder ..	121
	7.3.2.2 Bestemmelse af lækagetab på basis af belastningstid	122
	7.3.3 Grænser for lækagetab	123
	7.3.4 Foranstaltninger for formindskelse af tryklufftab	123
	7.3.5 Istandsættelse af tryklufftrørrøret	124
Kapitel 8		
Bestemmelse af trykluff- anlæggets størrelse	8.1 Kompressortypen	125
	8.1.1 Skruekompressorer	125
	8.1.2 Stempelkompressorer	125
	8.2 Maksimalt driftstryk P_{max}	126
	8.2.1 Faktorer med indflydelse på aflastningstrykket P_{max}	126

Kapitel		Side
	8.3 Bestemmelse af trykluftbeholder volumen	127
	8.3.1 Anbefalede volumener for trykluftbeholdere	127
	8.3.2 Standard serier og driftstryk for varierende størrelser af trykluftbeholdere	127
	8.3.3 Volumener af trykluftbeholdere for kompressorer	128
	8.4 Kompressor cyklus intervaller	129
	8.4.1 Kompressor aflastningstid	129
	8.4.2 Kompressor belastningstid	129
	8.4.3 Antal af motorstarter	130
	8.5 Eksempel på kompressor arrangementer	131
	8.5.1 Beregningseksempler på stempelkompressorer	131
	8.5.1.1 Bestemmelse af maksimaltrykket P_{max}	131
	8.5.1.2 Bestemmelse af kompressorstørrelse	132
	8.5.1.3 Volumen af kompressor trykluftbeholder	132
	8.5.1.4 Kompressor cyklus interval	133
	8.5.1.5 Kompressorens motor startcyklus	134
	8.5.2 Beregningseksempler på skruekompressorer	135
	8.5.2.1 Eksempel på beregning af maksimaltrykket P_{max}	135
	8.5.2.2 Bestemmelse af kompressorstørrelse	135
	8.5.2.3 Dimensionering af trykluftbeholderen	136
	8.5.3 Kompressorvalg - Supplerende bemærkninger	137
	8.6 Særlige bemærkninger om kompressor dimensionering	138
	8.6.1 Ydelse og arbejdsdruk	138
	8.6.2 Varierende arbejdsdruk for forskelligt udstyr	139
	8.6.3 Kombinerede kompressor anlæg	139
Kapitel 9 Det pneumatiske system	9.1 Kompressorens trykluftbeholder	140
	9.1.1 Oplagring af trykluft	140
	9.1.2 Pulsationsdæmpning	140
	9.1.3 Opsamling af kondensat	141
	9.1.4 Trykluftbeholdere under drift	141
	9.1.5 Opstilling af trykluftbeholdere	141
	9.1.6 Sikkerhedsregler for trykluftbeholdere	142
	9.1.6.1 Opdeling i afprøvningsgrupper	142
	9.1.6.2 Fremstilling af trykluftbeholdere	143
	9.1.6.3 Registrerings- og inspektionskrav	143
	9.1.6.4 Ekspertter og sagkyndige personer som defineret i de herfor gældende danske AT-bestemmelser	143
	9.1.6.5 Inspektion af trykluftbeholdere	144
	9.1.6.6 Inspektionsmåder	146
	9.1.6.7 Supplerende uddrag fra det danske Arbejdstilsyns regler for trykluftbeholdere	146
	9.1.7 Fittings anbragt på trykluftbeholdere	147
	9.1.7.1 Sikkerhedsventilen	148

Kapitel	Side
9.2 Trykluft rørsystemet	149
9.2.1 Opbygningen af trykluft rørsystemet	149
9.2.1.1 Hovedledningen	149
9.2.1.2 Trykluffordeling i et ringledningssystem	150
9.2.1.3 Trykluffordelingen i et stub (shunt) rørsystem	151
9.2.1.4 Tilslutningsledningen	151
9.2.1.5 Tilslutning til en samledning med flere systemer	152
9.3 Tips for planlægning af rørsystemer	153
9.3.1 Generelle planlægningstips	153
9.3.2 Rørledning uden tryklufftørrer	154
9.3.3 Rørledning med tryklufftørrer	155
9.4 Tryktab Δp	156
9.4.1 Strømningsart	156
9.4.2 Det Reynolds'ke tal, Re	156
9.4.3 Tryktab i rørsystemet	157
9.5 Dimensionering af rørledninger	158
9.5.1 Maksimalt tryktab Δp	158
9.5.2 Nominelle rørlysninger, sammenligning [DN – UK tommer]	159
9.5.3 Ækvivalent lige rørlængde	160
9.5.4 Beregning af indvendig diameter d_i af rør	161
9.5.5 Bestemmelse af indvendig diameter d_i af rør ved hjælp af et nomogram	162
9.5.6 Bestemmelse af indvendig diameter d_i af rør ved hjælp af et 'bar' skema	163
9.6 Valg af rørmateriale	164
9.6.1 Gevindrør	164
9.6.2 Sømløse stålrør	165
9.6.3 Rustfri stålrør	165
9.6.4 Kobberrør	166
9.6.5 Plastikrør	167
9.7 Mærkning af rørledninger	168
10.1 Køling af kompressoren	169
10.2 Installation af kompressoren	170
10.2.1 Generelle forhold i kompressor rummet	170
10.2.2 Tilladelig omgivende temperatur	170
10.2.3 Brandsikringsregler for kompressor rum	171
10.2.4 Fjernelse af kondensat	171
10.2.5 Kompressor installationsanvisninger	172
10.2.6 Arealkrav for en kompressor	172
10.2.7 Krav for opstilling af trykluffbeholdere	173
10.3 Ventilation af et kompressor anlæg	174

Kapitel 10 Kompressor rummet

Kapitel	Side
10.3.1	Faktorer med indflydelse på køleluftstrømmen \dot{V}_C af en kompressor 174
10.3.2	Definition af faktorer med indflydelse på køleluftstrømmen \dot{V}_C til og fra en kompressor 175
10.3.3	Generel information om ventilation af kompressor rum..... 176
10.3.4	Naturlig ventilation 177
10.3.4.1	Krævet afgangsåbning for naturlig ventilation..... 177
10.3.5	Mekanisk ventilation 178
10.3.5.1	Krævet ventilatorydelse ved mekanisk ventilation 178
10.3.5.2	Krævet indsugningsåbning ved mekanisk ventilation 179
10.3.5.3	Eksempel på kunstig ventilation af et kompressors anlæg .180
10.3.6	Cirkulation af køleluft med til- og afgangskanaler..... 181
10.3.6.1	Luftindsugningskanaler..... 181
10.3.6.2	Ekstraktion af luft gennem en køleluftkanal 182
10.3.6.3	Krævet køleluftmængde \dot{V}_D og tværsnit af kanal A_D ved brug af køleluftkanal 182
10.3.6.4	Information om ventilation med kanaler..... 183
10.3.6.5	Dimensionering af køleluftstilgang ved anvendelse af en afgangskanal..... 184
10.3.6.6	Forskellige former for kanalventilation..... 185
10.4	Eksempler på arrangementsplaner 186
10.4.1	Installation af en skruekompressor: Et eksempel 186
10.4.2	Installation af en stempelkompressor: Et eksempel 187
Kapitel 11	Varmebalancen af et kompressors anlæg 188
Varmegenvinding	Rumopvarmning 189
	11.2.1 Rumopvarmning gennem kanaler 189
	11.2.2 Drift af rumopvarmning 190
	11.2.3 Rumopvarmnings økonomi 190
	11.3 Duotherm varmeveksleren 191
	11.3.1 Duotherm BPT 191
	11.3.2 Duotherm BSW 192
	11.3.3 Hvor stor er energibesparelsen ? 193
	11.4 Afsluttende bemærkninger om varmegenvindingen 194
Kapitel 12	12.1 Lydens egenskaber 195
Lyd	12.1.1 Opfattelse af lyd 195
	12.2 Væsentlig terminologi om akustik 196
	12.2.1 Lydtryk 196
	12.2.2 Lydniveau 196
	12.2.3 Lydintensitet 196

Kapitel	Side
12.3 Menneskelig opfattelse af lyd	197
12.3.1 Lydens intensitetsniveau	197
12.3.2 Vurderet lydniveau i dB (A)	197
12.3.3 Sammenligning af lydniveauer	198
12.4 Lydens væsen	199
12.4.1 Afstand fra lydkilden	199
12.4.2 Refleksion og absorption	199
12.4.3 Lyddæmpning	200
12.4.5 Spredning af lyd i rør og kanaler	200
12.4.6 Lydtryksniveau fra flere lydkilder	201
12.4.6.1 Flere lydkilder med samme lydtryk	201
12.4.6.2 To lydkilder med forskelligt lydtryk	201
12.5 Lydens effekt	202
12.6 Støjbeskyttelses direktiver	203
12.6.1 Sikkerhedsregler for støjfremkaldende arbejde, Dato 12/74	203
12.6.2 Sikkerhedsregler for kompressorer (VBG 16), Dato 4/87 ..	203
12.6.3 Nationalt arbejdsplads direktiv, Dato 4/75	203
12.6.4 Nationale generelle administrative regler om støj, Dato 7/84	204
12.7 Støjmåling	205
12.8 Lyddæmpning af kompressorer	205
13.1 Sammensætning af trykluftens kostpris	206
13.1.1 Kostfaktor andele	206
13.2 Økonomiberegning af energiomkostningerne	207
Kapitel 13 Trykluftens kostpris	
Kapitel 14 Tillæg	
A.1 Symboler	208
A.1.1 Billedsymboler i h.t. DIN 28004	208
A.1.2 Symboler for kontaktenheder og omskiftere i h.t. ISO 1219	210

1. Grundlæggende om trykluft

1.1 Trykluftens historie

Tryklufften er i dag, sammen med elektriciteten, den hyppigst anvendte energikilde i industri og håndværk. Men selvom vi lærer at udnytte elektriciteten og elektrisk udstyr fra vor tidligste barndom, er forståelsen af mulighederne, fordelene og nødvendigheden af brugen af trykluft væsentligt mindre udbredt.

Menneskets opfattelse af tryklufften som en ressource steg samtidigt med den forøgede forståelse på andre tekniske områder. Tryklufftens øgede anvendelse blev kun fremmet efterhånden, da man blev klar over dens fordele samtidig med andre tekniske løsninger og opdagelser. Trykluft har altid været anvendt. Den gav mennesker mulighed for at overveje hvordan tryklufften kunne anvendes bedst og effektivt.

1.1.1 Tryklufftens oprindelse

Den første kompressor - Lungen

Mange tekniske anvendelsesformål stammer helt fra menneskets første tid på jorden. Den første anvendelse af trykluft var den, at blæse på gløder, så der opstod en flamme. Luften der anvendtes blev komprimeret i menneskets lunge. Faktisk kan lungen betegnes som en **naturlig kompressor**. Kapaciteten og ydelsen af denne kompressor er virkelig imponerende. Lungen kan yde 100 l/min eller 6 m³ luft i timen. Herunder kan den opnå et tryk på 0,02 - 0,08 bar. I sundhedsmæssig god tilstand er den menneskelige kompressor uovertruffen, og samtidigt kræver den ingen service.

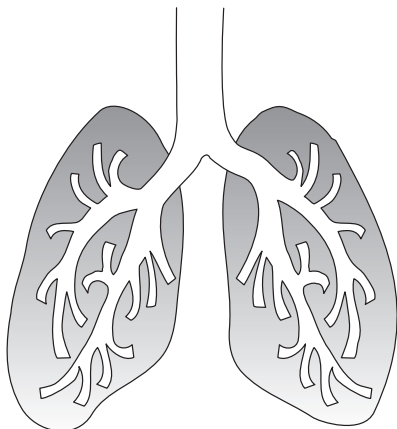


Fig. 1.1:
Den første kompressor - Lungen

Den videre udvikling af "Lungen"

Imidlertid viste lungen sig at være aldeles utilstrækkelig, da menneskene begyndte at smelte rene metaller, såsom guld, kobber, tin eller bly, for mere end 5.000 år siden. Da mennesket begyndte at smelte hårde metaller, som jern udvundet af malm, var en yderligere udvikling af trykluffteknologien nødvendig. Kraftigere hjælpemidler end lungerne måtte tages i brug, for at opnå temperaturer over 1000° C. Først anvendtes de stærke vinde i højlandene og på bjergskråningerne. Senere tog ægyptiske og sumeriske guldsmede vindpiber i anvendelse. Selv i dag bruger guldsmede overalt i verden lignende udstyr. Detegner sig imidlertid kun til smeltning af mindre mængder af det ædle metal.

Grundlæggende om trykluft



Fig. 1.2:
Billede af fodbetjente bælge i det gamle Ægypten

Den første mekaniske kompressor - bælgen

Den første mekaniske kompressor, den hånddrevne bælge, blev udviklet i det tredje årtusinde f. Kr. Den meget kraftigere fodbetjente bælge blev opfundet 1500 f. Kr. Denne udvikling var nødvendig til en metallegering af kobber og tin. Den fodbetjente bælge kunne give en stabil og hurtig fremstillingsmetode til produktion af bronze. Udviklingen fremgår af et vægmaleri i en gammel ægyptisk grav. Det var starten på tryklufften, som vi kender den i dag.

1.1.2 Den første anvendelse af trykluft Erkendelse af trykluffens egenskaber

Vandorglet Oplagring og dæmpning af pulsationer

Den første målbevidste anvendelse af luft er overgivet til os af Grækeren Ktesibios (ca. 285-222 f. Kr.). Han byggede et vandorgel og brugte komprimeret luft, der blev **oplagret** og anvendt til **nedsættelse af tryksvingninger**.

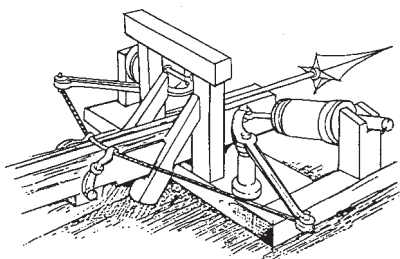


Fig. 1.3:
Ktesibios katapult

Katapult Oplagring af energi

Ktesibios udnyttede også en anden af trykluffens egenskaber, **oplagret energi**, til sin katapult. Ved hjælp af trykluft fra en cylinder, kunne grækeren opnå tilstrækkelig trækraft til at affyre kasteskyts.

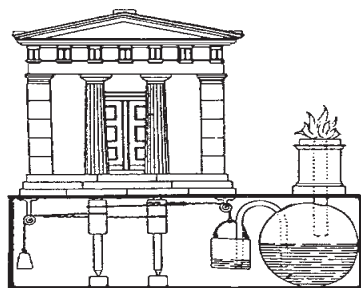


Fig. 1.4:
Heron's tempeldøre

Tempeldøre Ekspansion og udførelse af en arbejdsgang

Heron, en ingeniør der levede i Alexandria i det første århundrede e. Kr., fandt på en metode til automatisk åbning af dørene i et tempel, ved at holde altarflammen konstant brændende inde i bygningen. Hemmeligheden lå i anvendelsen af **ekspansionen** af varm luft, som kunne tvinge vand ud af en beholder, til en anden. Heron erkendte, omend ubevidst, at det var muligt **at gennemføre et arbejde** ved at ændre luftens tilstand.

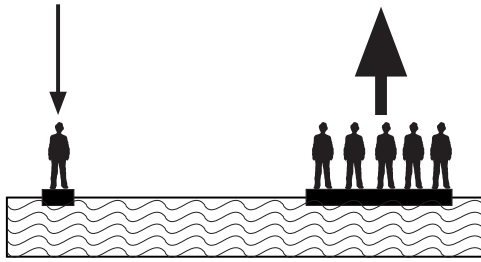


Fig. 1.5 :
Trykluft til energiforstærkning

Pascal's lov

Forstærkning af energi

Det var først i det 17. århundrede, at grupper af lærde begyndte at studere de fysiske love, der omfattede komprimeret luft. I **1663** offentliggjorde Blaise Pascal et essay om **forstærkning af energi** ved anvendelse af væsker (Hydraulik), som også kunne anvendes i forbindelse med trykluftteknologien. Han fastslog, at den på en åbning af en lukket vandbeholder afgivne kraft af en mand, svarede til en anden åbning, som er hundrede gange så stor, svarede til den afgivne kraft af hundrede mand.

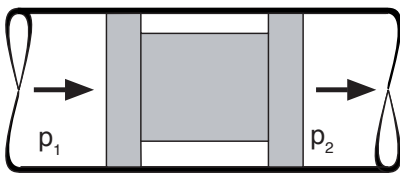


Fig. 1.6 :
Trykluft som transportmiddel

Tryklufttransport gennem rør

Pneumatisk transport

Hvor Heron sluttede sin opdagelse, beskrev den franske fysiker Denis Papin i 1667 en metode for transport af objekter gennem rør. Han udnyttede den lille trykforskel i lysningen af et rør. Ved at gøre dette fandt han ud af, at energien opstod omkring et objekt i rørledningen. Dette førte til erkendelsen af fordelene ved at udnytte de høje arbejdshastigheder ved brug af luft. Papin lagde dermed grundstenen for den **pneumatiske transport**.

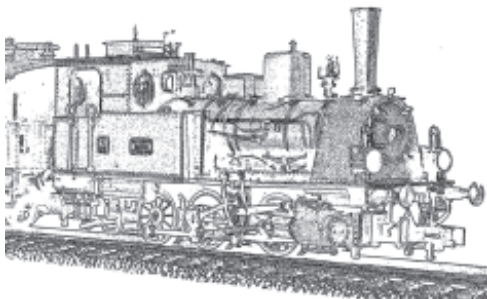


Fig. 1.7 :
Pneumatiske bremser i et tog ca. 1870

Pneumatiske bremser

Kraftoverføring

Omkring 1810, blev tog drevet med komprimeret luft. I 1869 introducerede Westinghouse sin pneumatiske bremse. Tre år senere fulgte hans bremseventil. Ved dette system blev bremserne slået fra ved hjælp af et **overtryk**, d.v.s. den fulde bremseeffekt opnås, hvis der opstår et trykfald, f.eks. ved sprængning af en bremseslange.

Dette var den første anvendelse af et fejlsikkert system. Et bremsesystem anvendes der også i dag, bl. a. på svære trykluftbremsede lastvogne, busser og tog.

Pneumatisk post

Transport ved hjælp af trykluft

Ideen med trykluftdrevne tog var ikke glemt. I 1863 byggede Latimer Clark sammen med ingeniør Rammel, en pneumatisk jernbane i London. Den bestod af små troljer, der kørte inde i let transportrør og var beregnet for transport af post-sække og pakker. Dette system var meget mere fleksibelt end de tunge, luftdrevne jernbaner i 1810. Denne ide førte efterhånden til indførelsen af den pneumatiske rørpost.

Pneumatiske postnetværker blomstrede hurtigt op i Berlin, New York og Paris. Netværket i Paris nåede sin længste længde på 437 km i 1934. Selv i dag anvendes pneumatiske postsystemer ved større industrielle foretagender.

Pneumatiske værktøjer

Transport af energi

Da tennellen gennem Mont Cenis blev bygget i 1857, blev den nye teknologi brugt i en trykluftdrevet stemborehammer til at komme gennem fjeldet. Fra 1861 blev der anvendt trykluft drevne slagborehamre, der fik tilført trykluft fra begge ender af tennellen. I begge tilfælde blev tryklufften transporteret over lange afstande.

Da gennembruddet af fjeldet var nået i 1871, var der over 7.000 m rør-ledninger fra begge sider. På denne måde blev **energi-trans-portmuligheden** demonstreret og gjort tilgængelig for en større kreds, som en af trykluffens fordele. Først derefter blev trykluftværktøjer med endnu bedre ydelse og alsidig anvendelighed udviklet.

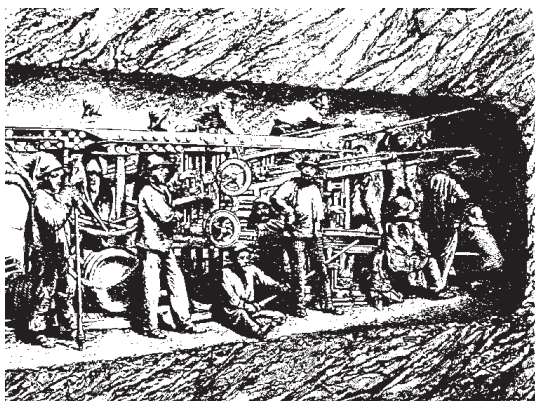


Fig. 1.8 :
Trykluftboremaskiner ved tunnelbygning

Pneumatiske netværk

Central produktion af trykluft og signaloverførsel

Ved brug af de indhøstede erfaringer med det pneumatiske netværk, og udviklingen af større kompressorer førte til, at et pneumatisk netværk blev installeret i de parisiske spildevandskanaler. Anlægget blev afleveret i 1888 med en **kompressor-centralydelse** på 1500 kW. I 1891 havde centralens ydelse allerede nået 18000 kW.

Den generelle succes af det pneumatiske netværk blev understreget ved opfindelsen af et ur, hvis minutviser blev flyttet for hver 60 sekunder af en impuls fra kompressorstationen. Man havde dermed ikke alene set transporten af energi, men også bevægelse af **signaler over større afstande gennem et pneumatisk netværk**.

Det pneumatiske netværk i Paris er enestående endnu i dag og er stadig i drift.

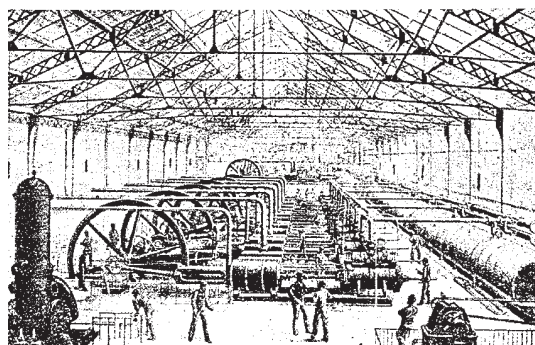


Fig. 1.9 :
Trykluftstation i Paris 1888

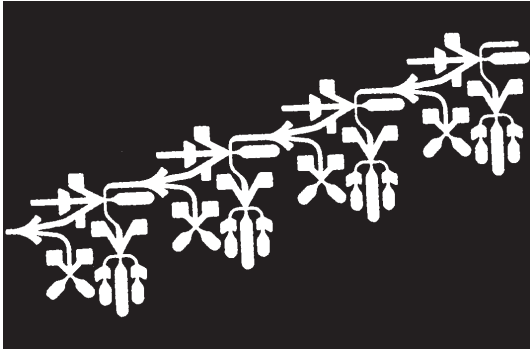


Fig. 1.10 :
Fire-trins adderingsanordning med vægstrålings-
elementer

Signal behandling

Trykluft for transmission og behandling af signaler

I 1950'ernes USA blev den høje strømningshastighed af trykluffen for første gang benyttet til transmission og behandling af signaler. **Lavtryks pneumatik**, også kendt som **fluidics** eller **pneumatics (pneumatic logic)**, tillader integrering af logiske skiftfunktioner i form af strømnings-mekaniske elementer under ekstreme driftsforhold, og med et meget lille pladsbehov. Det er drevet af tryk på 1,001 til 1,1bar. Den høje driftsmæssige sikkerhed af fluidic logic elementerne muliggjorde deres anvendelse i USA og USSR. Især deres elektro-magnetiske immunitet gjorde dem velegnede til både rum- og forsvarsteknik. Det er især immuniteten overfor de elektromagnetiske strålinger fra eksploderende atombomber, der har givet fluid-teknikken indpas i flere følsomme områder.

Alligevel er Fluidics i tidens løb for største delen i områderne signalteknik og informationsbearbejdning, blevet erstattet af elektroteknik og mikroelektronik.

Grundlæggende om trykluft

1.2 Enheder og formelsymboler

SI-enhederne (Système International d'Unités) blev godkendt på den 14. Generelle Konference for vægt og mål. De har været almindeligt gældende siden den 16.10.1971.

1.2.1 Grundlæggende enheder

Grundenhederne er definerede uafhængige måleenheder og danner grundlaget for **SI-systemet**.

Grundenhed	Formel symbol	Symbol	Navn
Længde	l	[m]	Meter
Masse	m	[kg]	Kilogram
Tid	t	[s]	Sekund
Strømstyrke	I	[A]	Ampere
Temperatur	T	[K]	Kelvin
Lyssstyrke	I	[cd]	Candela
Substanskvantitet	n	[mol]	Mol (Molekylegram)

1.2.2 Tryklufteenheder

I teknikken anvendes mål baseret på grundenhederne. Nedenstående tabel viser de hyppigst anvendte måleenheder for **trykluft**.

Enhed	Formel symbol	Symbol	Navn
Kraft	F	[N]	Newton
Tryk	p	[Pa] [bar]	Pascal Bar 1 bar = 100 000 Pa
Areal	A	[m ²]	Kvadratmeter
Volumen	V	[m ³] [l]	Kubikmeter Liter 1 m³ = 1 000 l
Hastighed	v	[m / s]	Meter/Sekund
Masse	m	[kg] [t]	Kilogram Ton 1 t = 1 000 kg
Massefylde	ρ	[kg / m ³]	Kilogram/Kubikmeter
Temperatur	T	[°C]	Grader Celsius
Effekt	W	[W]	Watt
Energi	P	[J]	Joule
Spænding	U	[V]	Volt
Frekvens	f	[Hz]	Hertz

1.3 Hvad er trykluft ?

1.3.1 Luftens sammensætning

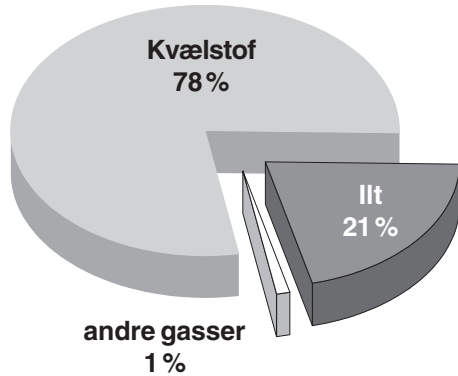


Fig. 1.11:
Luftens sammensætning

Luften der omgiver os, atmosfæren, består af:

- 78 % Kvælstof
- 21 % Ilt
- 1 % andre gasser
(f. eks. kuldioxid og argon)

1.3.2 Trykluftens egenskaber

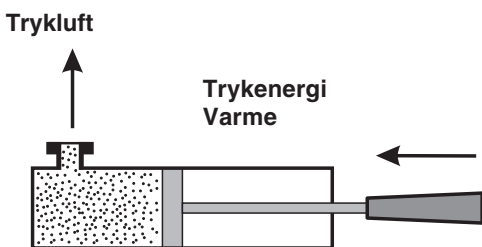


Fig. 1.12:
Luftkompression

Trykluft er komprimeret atmosfærisk luft.

Trykluft transporterer varmeenergi.

Trykluft kan overvinde visse afstande (i rørledninger), kan lagres (i trykluftbeholdere) og udføre arbejde (ved trykned-sættelse).

1.3.3 Hvordan virker tryklufften?

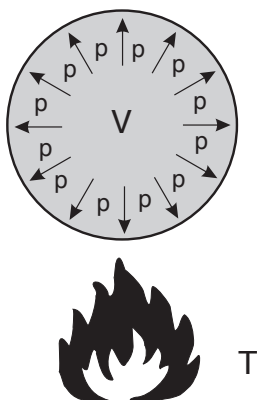


Fig. 1.13:
Luft i en lukket beholder

Som alle andre gasser, består luften af molekyler. Molekylerne holdes sammen af en molekylær kraft. Hvis luften er lukket inde i en beholder (konstant volumen), vil molekylerne støde mod beholderens vægge og fremkalde en kraft **p**.

Desto højere **temperatur**, desto livligere er molekylernes bevægelser, og desto højere tryk opstår.

Volumen (V) = konstant

Temperatur (T) = forøges

Trykket (p) = stiger

Boyle og Mariotte gennemførte, uafhængigt af hinanden, eksperimenter med indesluttede gasvolumener og fandt følgende sammenhæng:

Gassens volumen er omvendt proportionalt med trykket.
(Boyle-Mariotte's Lov)

Grundlæggende om trykluft

1.4 Fysiske grundtræk

Trykluftens tilstand fastlægges med 3 måleenheder for dens termiske tilstand:

T = Temperatur

V = Volumen

p = Tryk

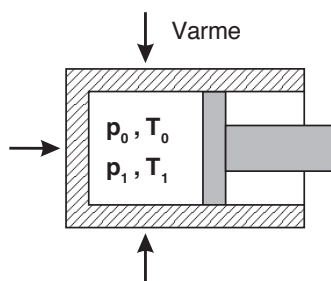
$$\frac{p \times V}{T} = \text{konstant}$$

Det betyder:

Konstant volumen (Isokor)

Variabelt tryk og temperatur

Når temperaturen forøges og volumenet forbliver konstant, øges trykket.



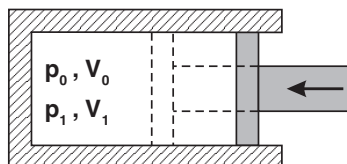
Konstant volumen
Isokor kompression

$$\frac{p_0}{p_1} = \frac{T_0}{T_1}$$

Konstant temperatur (Isoterm isk)

Variabelt tryk og volumen

Når volumenet formindskes og temperaturen forbliver konstant, vil trykket øges.



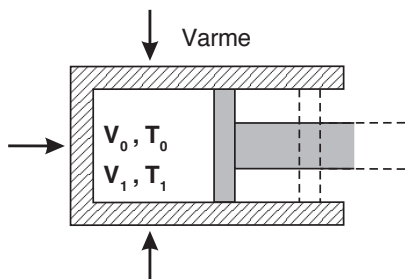
Konstant temperatur
Isotermisk kompression

$$p_0 \times V_0 = p_1 \times V_1 = \text{konstant}$$

Konstant tryk (Isobar isk)

Variabelt volumen og temperatur

Når temperaturen øges og trykket forbliver konstant, vil volumenet blive øget.



Konstant tryk
Isobar kompression

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{T_0}{T_1}$$

1.4.1 Temperatur

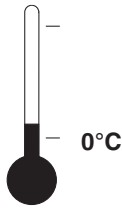
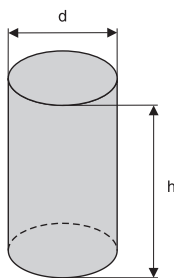


Fig. 1.14:
Temperaturvisning

Temperaturen angiver varmen af et legeme og aflæse i °C på et termometer eller omregnes til Kelvin (K).

$$T [K] = t [^{\circ}C] + 273,15$$

1.4.2 Volumen



Volumen (V)

Volumen V [l, m³]

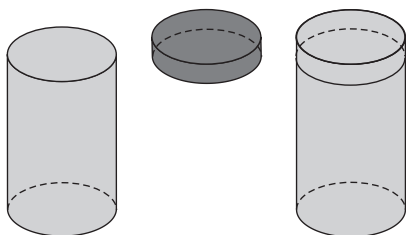
Trykluft i ekspanderet tilstand, åben, fri luft

Volumenet bestemmes f. eks. af størrelsen af en cylinder. Den måles l eller m³ i relation til 20°C og 1 bar.

De angivne data i vor dokumentation angives altid som komprimeret luft i dens ekspanderede tilstand.

$$V_{\text{cyl}} = \frac{d^2 \times \pi}{4} \times h$$

V_{cyl}	=	Volumen	[m³]
d	=	Diameter	[m]
h	=	Højde	[m]



Norm volumen $0^{\circ}C$ + 8% = Volumen $20^{\circ}C$

Normalt volumen V_{Norm} [NI, Nm³]

Trykluft i ekspanderet tilstand under normale forhold

Det normale volumen er baseret på den normale fysiske tilstand, som angivet i DIN 1343. Det er 8% mindre end volumenet ved 20°C.

$$760 \text{ Torr} = 1,01325 \text{ bar}_{\text{abs}} = 101325 \text{ Pa}$$

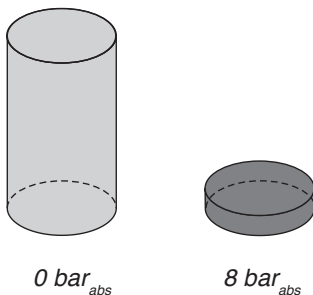
$$273,15 \text{ K} = 0^{\circ}C$$

Driftsvolumen V_{Drift} [BI, Bm³]

Trykluft i komprimeret tilstand

Volumenet i driftstilstand er baseret på de faktiske forhold. Temperaturen, lufttrykket og luftens fugtighed må tages med som referencedata.

Ved angivelse af det ønskede driftsvolumen må trykket altid gives med f.eks. 1 m³ ved 7 bar, betyder at 1 m³ ekspanderet (Trykløs) luft ved 7 bar = 8 bar abs. komprimeret luft kun optager 1/8 af det originale volumen.



Grundlæggende om trykluft

1.4.3 Tryk

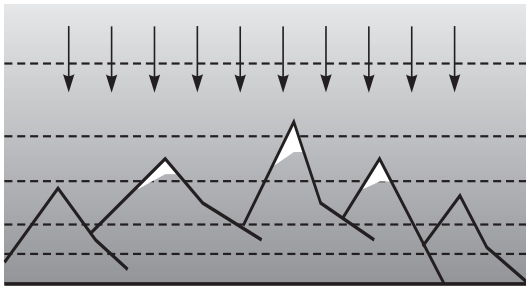


Fig.1.15:
Atmosfærisk tryk

Atmosfærisk tryk $p_{omg.}$ [bar]

Det atmosfæriske tryk i luften omkring os, skyldes luftens vægt. Dette er afhængigt af luftens tæthed og atmosfærens højde, der ved havoverfladen er:

$$\begin{aligned} \text{Ved havoverfladen, } 1\,013\text{ mbar} &= 1,01325\text{ bar} \\ &= 760\text{ mm/Hg [Torr]} \\ &= 101\,325\text{ Pa} \end{aligned}$$

Under normale forhold vil det atmosfæriske tryk falde, desto højere målestedet ligger.

Overtryk p_o [bar_o]

Overtrykket er trykket over det atmosfæriske tryk. I trykluft-teknologien angives trykket normalt som overtryk, i bar uden tilføjelsen 'o'.

Absolut tryk p_{abs} [bar]

Det absolute tryk p_{abs} er summen af det atmosfæriske tryk $p_{omg.}$ og overtrykket p_o .

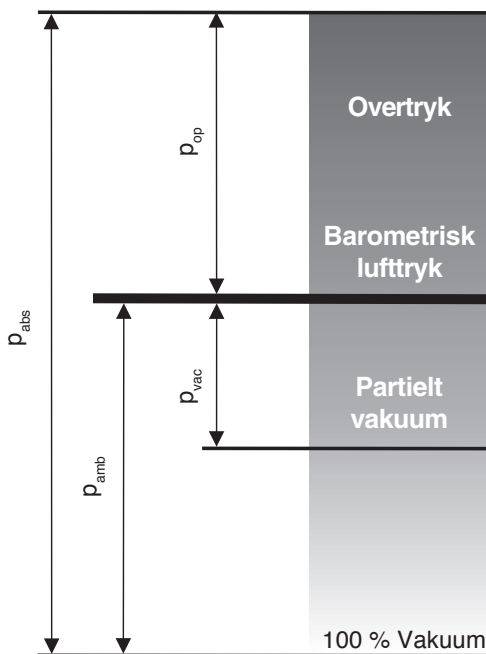
$$p_{abs} = p_{omg} + p_o$$

I henhold til **SI-Systemet** angives trykket i Pascal [Pa]. I praksis, angives det imidlertid stadig i „bar“. Den gamle måleenhed atm (1 atm = 0,981 bar_o, bruges ikke mere.

$$\text{Tryk} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Areal}} \quad p = \frac{F}{A}$$

$$1\text{ Pascal} = \frac{1\text{ Newton}}{1\text{ m}^2} \quad 1\text{ Pa} = \frac{1\text{ N}}{1\text{ m}^2}$$

$$1\text{ bar} = 10195\text{ mmVS [mm Vandsøjle]}$$



- p_{amb} = Atmosfærisk tryk
- p_o = Overtryk
- p_{vak} = Partielt vakuum
- p_{abs} = Absolut tryk

Fig.1.16:
Forskellige trykgrænser

1.4.3 Volumenstrøm

Slagvolumenstrøm

Indsugningsmængde

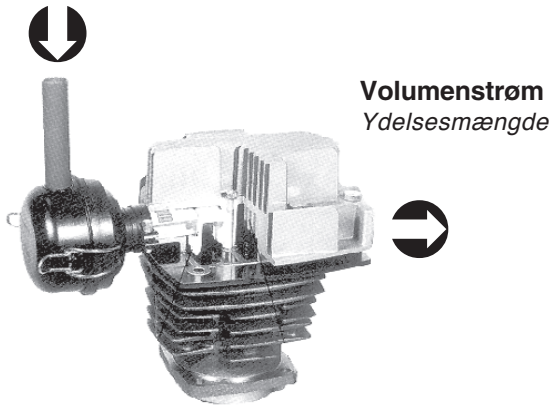


Fig. 1.17:
Slagvolumenstrøm og ydelsesmængde

Volumenstrøm \dot{V} [l/min, m³/min., m³/h]

Volumen angiver volumenet (i l eller m³) for hver tidsenhed (minut eller time).

Der skelnes mellem slagvolumenstrømmen (indsugningsmængde) og volumenstrømmen (ydelsesmængde) af en kompressor.

Slagvolumenstrøm \dot{V}_{Slag} [l/min, m³/min., m³/h]
Indsugningsmængden

Slagvolumenstrømmen for stempelkompressorer kan beregnes. Det er produktet af cylinderstørrelsen (Slagvolumenet), kompressor hastighed (antal stempelslag) og antallet af arbejdende cylindre. Slagvolumenstrømmen angives i l/min, m³/min eller m³/h.

$$\dot{V}_{\text{Wor}} = A \times s \times n \times c$$

- \dot{V}_{Slag} = Slagvolumenstrømmen [l/min]
- A = Cylinderindhold [dm²]
- s = Slag [dm]
- n = Antal slag [1/min]
(Kompressor omdrejningstal)
- c = Antal af arbejdende cylindre

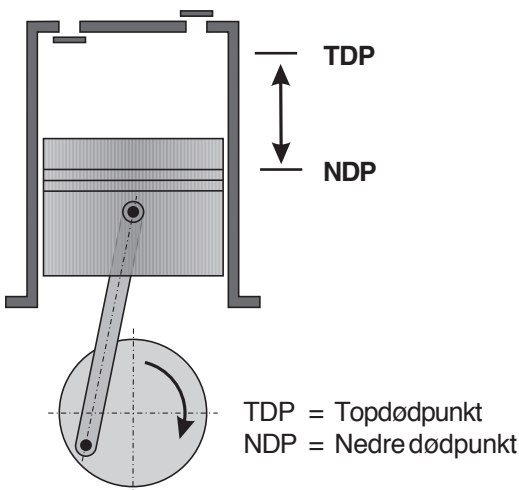


Fig. 1.18:
Stempels bevægelse

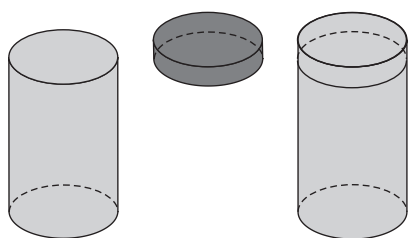
Volumenstrømmen \dot{V} [l/min, m³/min, m³/h]
Ydelsesmængde

Ydelsen af en kompressor opgives normalt som volumenstrømmen.

I modsætning til slagvolumenstrømmen, er volumenstrømmen ikke en beregnet værdi, men en ved kompressorens afgangstuds **målt** og på sugetilstanden tilbageført værdi. Volumenstrømmen afhænger af det endelige tryk, i forhold til indsugningsforholdenes tryk og temperatur. Ved omregningen må derfor den målte volumenstrøm føres tilbage til den "ekspanderede" sugetilstand og den "køligere" sugetemperatur.

Volumenstrømmen måles i h.t. VDMA 4362, DIN 1945, ISO 1217 eller PN2 CPTC2 og opgives i l/min, m³/min eller m³/h. Den effektive volumenstrøm, d.v.s. ydelsen, som reelt kan anvendes, er en vigtig overvejelse ved konstruktionen af en kompressor. Volumenstrømme kan kun være brugbare, når målingerne har fundet sted under de samme betingelser. Det betyder at temperatur, tryk, relativ luftfugtighed og målt afgangstryk er identiske.

Grundlæggende om trykluft



Volumenstrøm +8% = Nom. volumenstrøm
20°C 0°C

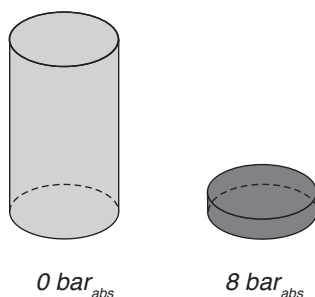
Fig. 1.19:
Nom. volumenstrøm

Nom. volumenstrøm \dot{V}_{Norm} [NI/min , Nm^3/min , Nm^3/h]

Ligesom volumenstrømmen, **måles** også den nominelle volumenstrøm.

Imidlertid henføres den ikke til indsugnings tilstanden, men til en teoretisk sammenlignelig værdi. Ved den fysiske normtilstand anvendes følgende teoretiske data:

Temperatur = 273,15 K (0 °C)
Tryk = 1,01325 bar (760 mm HG)
Lufttæthed = 1,294 kg/m^3 (Tør luft)



0 bar_{abs}

8 bar_{abs}

Fig. 1.20:
Driftsvolumenstrøm

Driftsvolumenstrøm \dot{V}_{Drift} [DI/min , Dm^3/min , Dm^3/h]

Driftsvolumenstrømmen angiver den effektive volumenstrøm af tryklufften.

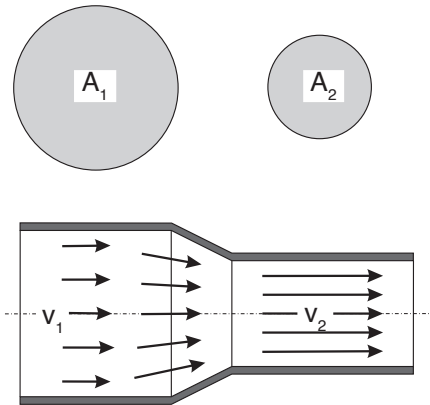
For at være i stand til at sammenligne driftsvolumenstrømmen med de andre volumenstrømme, er det nødvendigt, at trykket altid angives sammen med DI/min , Dm^3/min eller Dm^3/h .

1.5 Trykluft i bevægelse

Der gælder forskellige love for trykluft i bevægelse og stationær trykluft

1.5.1 Trykluftstrømmens virkning

Volumenstrømmen beregnes på grundlag af areal og hastighed.



$$\dot{V} = A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

\dot{V} = Volumestrøm
 A_1, A_2 = Tværsnit
 v_1, v_2 = Hastighed

Fig. 1.21:
Trykluftstrømmens virkning

Resultatet af formelen er at:

Strømningshastigheden er omvendt proportional af tværsnittet.

1.5.2 Strømningstyper

Strømningen kan være laminar/jævn (Ideel), eller turbulent (med tilbagestrømning og hvirvler).

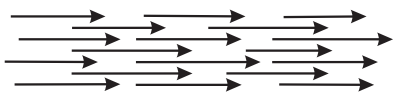


Fig. 1.22:
Laminar strøm

Laminar strømning (Jævn strømning)

Lavt tryktab
Mindre varmeoverførsel



Fig. 1.23:
Turbulent strøm

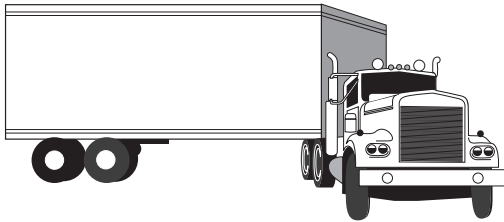
Turbulent strømning (Hvirvelstrøm)

Stort tryktab
Stor varmeoverførsel

2. Avendelsesområder for pneumatik

2.1 Trykluftens fordele

På alle områder står pneumatikken overfor stærk konkurrence fra mekanisk, hydraulisk og elektrisk udstyr. Men pneumatisk udstyr har fundamentale fordele overfor de andre teknologier:



Nem transport

Luft findes overalt, og der findes masser af den. Da afgangsluften kan passere til det fri, kræves ingen returledning. Elektricitet og hydraulik kræver ledninger tilbage til kilden.

I rørledninger kan trykluft transporteres over lange afstande. Derfor er det muligt at opstille centrale kompressor anlæg, der kan forsyne brugsstederne gennem en ringledning, med et konstant arbejdstryk. Den i trykluft opsamlede energi kan på denne måde fordeles vidt omkring.



Nem oplagring

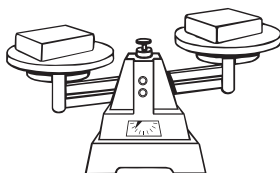
Det er nemt at oplagre trykluft i dertil indrettede beholdere. Når der er indbygget en beholder i et trykluftrørsystem, behøver kompressoren kun at køre, når trykket falder under et kritisk trykniveau. Der forbliver altid en trykpude. En arbejdsgang kan altid tilendebringes, hvis elforsyningen svigter.

Transportable tryklufflasker kan også anvendes på steder, hvor der ikke findes et rørsystem (F. eks. under vandet).



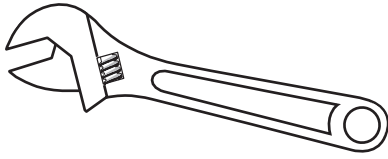
Ren og tør

Trykluft forurener ikke og efterlader ikke oliedråber, hvis rørledningerne er defekte. Renlighed ved montage eller under drift er overordentligt vigtige faktorer i mange industrigrene, f. eks. i næringsmiddel-, garveri-, tekstil- og emballeringsindustrien.



Let vægt

Pneumatisk udstyr er normalt meget lettere end tilsvarende udstyr og maskineri med elektrisk drivkraft. Dette giver en stor, positiv forskel ved hånd- og slagværktøj. (Trykluftskrue-trækkere og trykluffthamre).



Sikkert i brug

Efterbehandlet trykluft virker perfekt, også ved høje temperaturudsving og ved meget høje temperaturer, som forekommer ved bl. a. smedepresser og højovnsdøre.

Utæt trykluftudstyr og trykluftrørledninger er ikke til fare for sikkerheden.

Trykluftanlæg og komponenter har en meget begrænset slitage, som følge heraf har de en lang levetid og meget ringe grad af fejlfunktioner.



Lav ulykkestærskel

Trykluftudstyr er meget sikkert med hensyn til brand, eksplosion og de ved brugen af elektricitet forekommende ulykker. Det kan anvendes uden store og kostbare sikkerhedsforanstaltninger. Også i fugtige rum eller udendørs, er der ingen farer forbundet ved anvendelse af trykluftudstyr.

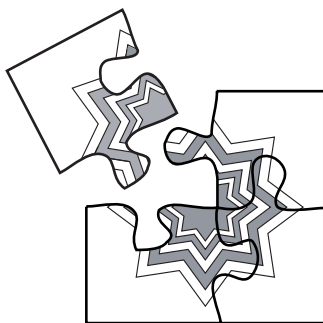


Rationelt og økonomisk

Det er 40 - 50 gange mere økonomisk at anvende pneumatisk udstyr, end rå muskelkraft. Dette er en skelsættende kendsgerning ved mekanisering eller automatisering.

Pneumatiske komponenter koster mindre, end de tilsvarende hydrauliske komponenter.

Der er intet behov for jævnlige udskiftninger af trykmedier, således som det er tilfældet, f. eks. ved hydraulisk udstyr. Det nedsætter drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne og giver et øget antal reelle driftstimer.



Simpelt

Konstruktionen af og driften af pneumatisk udstyr er meget simpel. Af denne årsag er det meget robust og ikke særligt udsat for fejlfunktioner. På grund af udstyrets simple konstruktion er det nemt og hurtigt installeret. Montagen kræver ingen speciel oplæring.

Retliniede bevægelser kan gennemføres uden anvendelse af ekstra dele, såsom vægtarme, kamme, ekscentriske skiver, skruespindler og lignende.

Sikker mod overbelastning

Trykluftudstyr og bevægelige pneumatiske dele kan belastes indtil de stopper, uden derved at blive beskadiget. Det er derfor de anses for at være overbelastningssikre.

I modsætning til et elektrisk system kan et trykluftsystem uden betænkeligheder overbelastes. Hvis trykket falder for kraftigt, kan arbejdet ikke gennemføres, men der vil ikke ske skade på rørsystemet eller det tilsluttede udstyr.

Hurtigt arbejdende medie

De meget høje strømningshastigheder giver mulighed for meget hurtige arbejdsgange. Dette resulterer i korte opstartstider og en hurtig omdannelse af energi til arbejde.

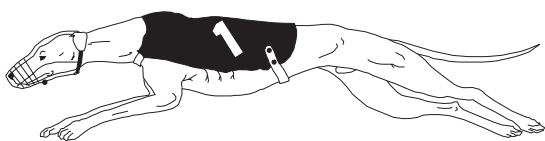
Trykluft kan komme op på strømningshastigheder på over 20 m/s. Hydraulik tillader derimod kun 5 m/s.

Pneumatiske cylindre kan nå op på lineære stempelhastigheder på 15 m/s.

Den maksimale hastighed for styresignaler ligger mellem 30 til 50 m/s. Ved driftstryk mellem 6 til 8 bar. Ved tryk på under 1 bar er det endda muligt, at komme op på signalhastigheder fra 200 til 300 m/s.

Fuldt justerbart

Bevægelsehastigheder og udøvet kraft er fuldt justerbare. Både ved lineær og roterende bevægelse kan en trinløs styring af bevægelse, kraft, moment og hastighed gennemføres problemløst ved hjælp af stilbare drøvleventiler.



2.2 Trykområder

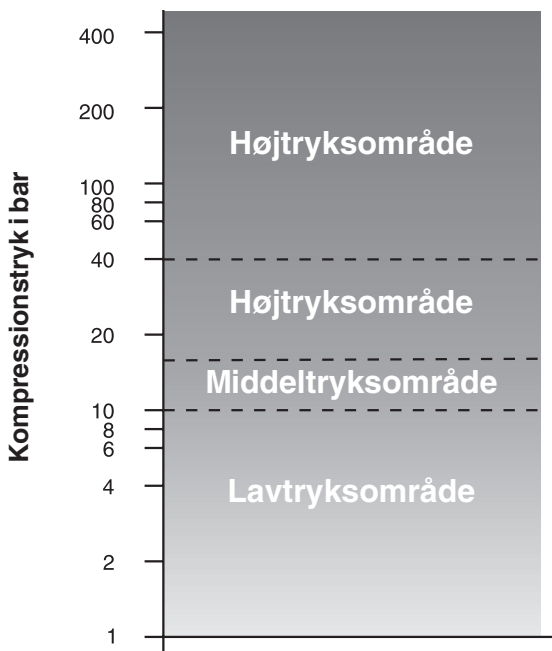


Fig 2.1 :
Trykområder

Lavtryksområde til 10 bar

Det hyppigst anvendte trykområde i industrien og håndværket er lavtryksområdet med tryk på 10 bar og derunder.

Anvendte kompressorer er:

- en og to-trins stempelkompressorer
- et-trins skruekompressorer med indsprøjtet olieøling
- to-trins skruekompressorer
- rotationskompressorer

Middeltryksområdet til 15 bar

Busser og andre tunge køretøjers dæk fyldes med trykluft fra 15 bar kompressorer. Herudover findes der enkelte specialmaskiner, som drives med tilsvarende tryk.

Anvendte kompressorer er:

- to-trins stempelkompressorer
- et-trins skruekompressorer med indsprøjtet olieøling (op til 14 bar)

Højtryksområde til 40 bar

Kompressorerne for dette trykområde anvendes normalt for start af store dieselmotorer, afprøvning af rørledninger og opblæsning af plastikbeholdere.

Anvendte kompressorer er:

- to og tre-trins stempelkompressorer
- flere-trins skruekompressorer

Højtryksområde til 400 bar

Et af eksemplerne på anvendelse af trykluft i dette trykområde er påfyldning af åndedrætsluft på dykkerflasker. Højtrykskompressorer anvendes i kraft-, valse- og stålværker til tæthedsafprøvning. Kompressorer af denne type anvendes også til komprimering af tekniske gasser, som f.eks. ilt.

Anvendte kompressorer:

- tre og fire-trins stempelkompressorer

2.3 Mulige anvendelsesområder for trykluft

Trykluft anvendes i stigende grad i alle industrigrene, i håndværk og i dagliglivet. De mulige anvendelsesområder er vidt forskellige og omfatter næsten alt. Et par eksempler på de tekniske anvendelser, er kort beskrevet nedenfor.

I erkendelse af alsidigheden af dette medie, er det kun muligt at give et resumé af de mulige anvendelsesformål. Indholdet af dette afsnit kan derfor ikke blive helt fyldestgørende, da kriterierne for anvendelsen og dennes afvigelser er for varieret.

2.3.1 Fastspænding og stramning med trykluft

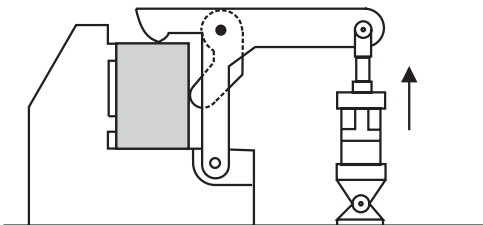


Fig. 2.2:
Pneumatisk-mekanisk spændeordning

Fastspænding og stramning med trykluft anvendes fortrinsvist i forbindelse med mekanisk arbejde og automatisering. Pneumatiske cylindre eller motorer anbringer og fikserer de nødvendige værktøjer, der indgår i arbejdsgangen. Dette kan gøres med lineære og roterende bevægelser, men også med svingende bevægelser. Energien i tryklufften omdannes ved trykpåvirkning direkte til bevægelse og kraft. Spændkraftens styrke kan justeres meget nøjagtigt.

2.3.2 Transport med trykluft

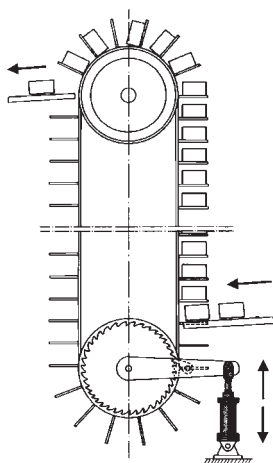


Fig. 2.3:
Højdeforskydning ved hjælp af en trykluftdrevet kædetransportør

Transport med trykluft forekommer ved mekanisk arbejde og automatisering. Her anvender man motorer og cylindre til taktstyret eller glidende transport før eller efter en arbejdsgang. Automatisk oplagring eller udlevering hører også til denne kategori, såvel som omstyring af emner og andre objekter på lange transportbånd.

En anden variant af den pneumatiske transport er befordringen af masse gods og væsker gennem rørledninger. På denne måde kan granulater, korn, pulver og mindre massive enheder transporteres hurtigt og bekvemt over relativt lange afstande. Til denne kategori hører også rørposten.

2.3.3 Pneumatiske drevsystemer

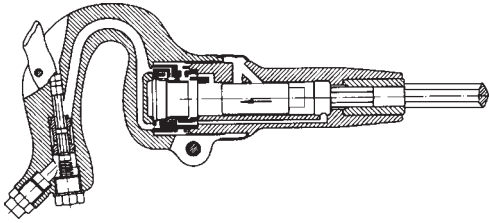


Fig. 2.4:
Ventilløs pneumatisk hammer

Pneumatiske drevsystemer findes i alle industrigrene og håndværk. De udfører både roterende, som lineære bevægelser. Især de lineære bevægelser, ved hjælp af cylindre, må anses for at være både rationelle og især driftsøkonomiske. Arbejdet udføres ved hjælp af trykfald og volumenændring.

Særligt vigtigt i kategorien af de pneumatiske drev er de "slående trykluftmaskiner og -værktøjer" (F. eks. tryklufthamre). Trykluftens energi omdannes til kinetisk energi af et frit bevægeligt stempel. Også vibratorer og stampere hører til dette område.

Pneumatik anvendes også til et utal af ventiler og glidere, værktøj, justeringsanordninger, fødesystemer og køretøjer.

2.3.4 Sprøjtning med trykluft

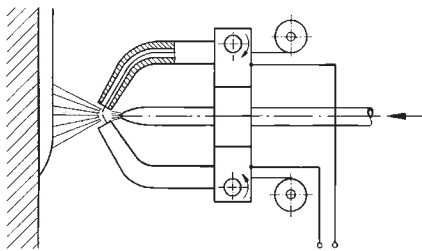


Fig. 2.5:
Lysbue metalsprøjtningssystem

Ved **sprøjtning**, anvendes energien fra den ekspanderende trykluft som ejektor af materialer eller væsker gennem en stråledyse. Denne fremgangsmåde anvendes til påføring eller forstøvning af forskellige materialer.

Overfladebehandling som sand-, grus- eller kugleblæsning og lakering med malepistoler hører til denne kategori. Sprøjtebeton og -mørtel påføres også med denne metode.

Med supplerende tilførsel af høje temperaturer, kan tryklufften også anvendes til påføring af flydende metaller. Det gælder f. eks. lys-buesprøjtningen.

En anden anvendelsesform er f. eks. sprøjtning af ukrudts- og insektbekæmpelsesmidler.

2.3.5 Afbløjning og rensning med trykluft

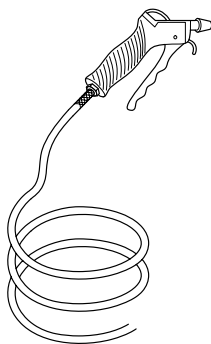


Fig. 2.6:
Blæsepistol med spiralslange

Ved **blæsning** tjener tryklufften selv som medium, hhv. værktøj. Den ved trykfaldet opnåede strømningshastighed og/eller volumenudvidelse, udgør nyttevirkningen.

Eksempler på sådant arbejde er f. eks. blæsning af glas- og plastikflasker, udblæsning og rensning af værktøjer og forme, fiksering af lette emner for bearbejdning eller for transport og bortblæsning af bearbejdningsrester. Derudover anvendes tryklufften i denne form til fjernelse af varme.

Anvendelsesområder for pneumatik

2.3.6 Afprøvning og kontrol med trykluft

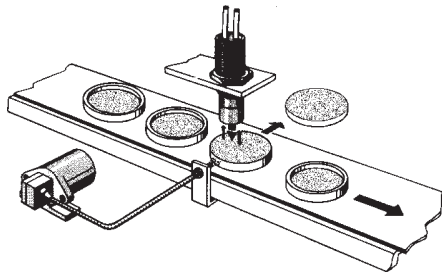


Fig. 2.7:
Refleksdyse med impulsudkaster

Ved **pneumatiske test- og inspektionsprocedurer**, udnyttes trykvariationer ved målepunktet for bestemmelse af afstande, vægte og formafvigelse. På denne måde kan passerende emner tælles, deres korrekte placering konstateres og tilstedeværelsen af emnet kontrolleres.

Denne metode er en integreret del i mange sorterings, positionerings og bearbejdningsystemer.

2.3.7 Trykluft til processtyring

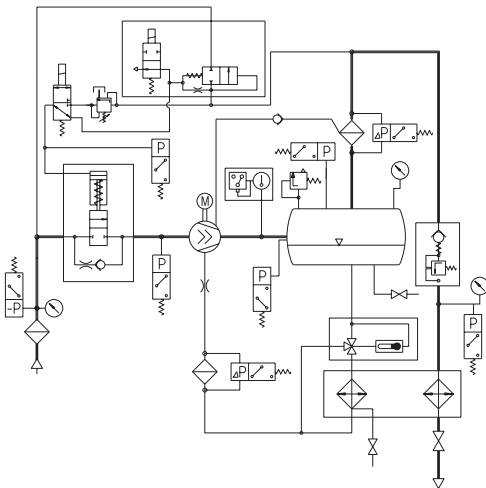


Fig. 2.8:
Flowdiagram for en luftkølet skruekompressor, med styring af totalydelsen

Enhver anvendelse af pneumatik, skal på en eller anden måde styres eller reguleres.

I almindelighed sker dette ved hjælp af pressostater, retningsbestemte ventiler og lign. Disse styremekanismer aktiveres på mange måder, f. eks. med mekaniske afbrydere ved hjælp af knaster, kurveskiver eller rent manuelt. Elektriske og magnetiske afbrydere anvendes også i stor stil. De af dette pneumatiske test- og styresystem angivne resultater, kan direkte ved hjælp af retningsbestemte ventiler eller pressostater forarbejdes videre.

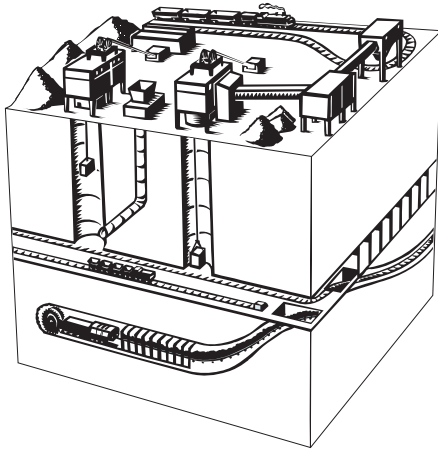
Pneumatikkens betydning er stor for styring af strømningsprocesser i forbindelse med væsker og gasser. Hermed fjernstyres ventiler, skydere og klapper, i bl. a. store industrielle anlæg.

Også til informationsbearbejdning og logisk omkobling anvendes pneumatikken (Fluidic). Disse logiske styringer kan sammenlignes med tilsvarende logiske elektroniske kredsløb. De kræver betydeligt mere plads, men er til bestemte anvendelsesformål væsentligt mere driftssikre. Hvis antallet af logiske elementer ikke er for stort, kan 'Fluidic's derfor benyttes som et alternativ.

2.4 Eksempler på speciel anvendelse

Denne korte opsummering giver en idé om de mange anvendelsesmuligheder, der er for trykluft i industrien, i håndværket og det daglige liv. En angivelse af alle pneumatikkens anvendelsesmuligheder er ikke mulig, da udvikling og forandringer, konstant byder på nye anvendelsesområder. Derfor kan det være en ukomplet summarisk gennemgang af de typiske anvendelsesmuligheder i industrien.

En liste over de typiske anvendelsesformål i maskindustrien er ikke inkluderet, da pneumatikken praktisk talt anvendes overalt.



Bygge- og entreprenørbranchen

- Bore- og nedbrydningshamre (Håndstampere)
- Betonvibratorer
- Transportsystemer i teglværker og betonvarefabrikker
- Transportsystemer for beton og mørtel

Minedrift

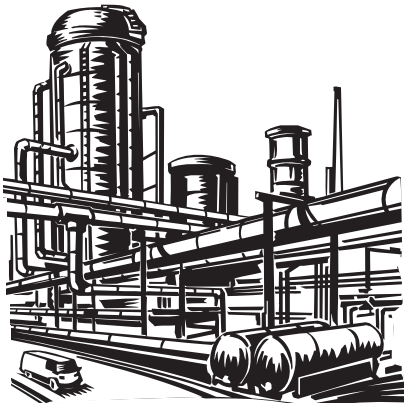
- Stenborehamre og transportsystemer
- Lastningsmaskiner, last- og nedbrydningsvogne
- Trykluffhamre og -mejsler
- Ventilationsystemer

Kemisk industri

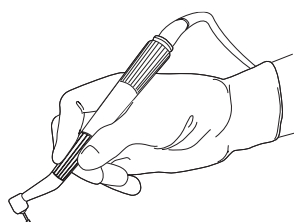
- Råmateriale for iltningsprocesser
- Proces-styring
- Fjernbetjente ventiler og glidere i proceskredsløb

Energisektoren

- Isætning og udtrækning af reaktorstave
- Fjernstyrede ventiler og glidere i damp- og kølekredsløb
- Ventilationsystemer for kedelhuse

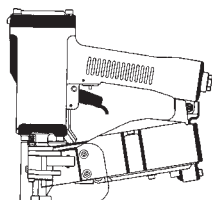


Anvendelsesområder for pneumatik



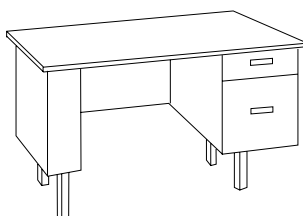
Sundhedsvæsenet

- Drev til tandlægebor
- Luft til åndedrætssystemer
- Udsugning af anæstetiske gasser



Håndværket

- Hæfte- og sømpistoler
- Malesprøjter
- Boremaskiner og skruetrækkere
- Vinkelslibere



Træbearbejdningsindustrien

- Rullejustering for rammesave
- Borefødesystemer
- Ramme-, lim- og finerpresser
- Kontakt- og transportstyring af bordplader
- Fjernelse af spåner og savstøv fra arbejdsområder
- Automatisk pallet sømning

Stålværker og støberier

- Kulstofreduktion ved stålfremstilling
- Stødpresse vendemaskiner
- Bundtningsmaskiner for halvfabrikater
- Køling for opvarmet værktøj og systemer



Plastindustrien

- Rørtransport af granulater
- Skærings- og svejseudstyr
- Bortblæsning af emner fra produktionsforme
- Låsemekanismer for støbeforme
- Formnings- og klæbningsenheder



Land- og skovbrug

- Plantebeskyttelses og ukrudtsbekæmpelse
- Transport af foder og korn til og fra siloer
- Foderfordelingsudstyr
- Ventilationssystemer i drivhuse



Nærings- og nydelsesmiddelindustrien

- Tappeudstyr
- Lukke- og kontroludstyr
- Pakke- og palleteringsmaskiner
- Etiketteringsmaskiner
- Afvejningsudstyr



Papirindustrien

- Rullelejustering og fødemaskiner
- Skære-, præge- og pressemaskiner
- Overvågning af papirbaner

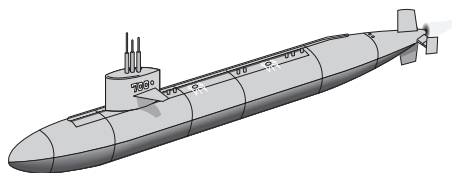


Tekstilindustrien

- Tråddetektorer
- Klemme- og positioneringsudstyr for symaskiner
- Synåle- og systemkøling
- Stakningsanordninger
- Bortblæsning af stofrester og støv fra syning

Miljøteknologi

- Dannelse af oliespæringer i vand
- Iltberigelse af vand
- Isfriholdelse af slambassiner, overfladevand sluseporte m.m.
- Glideraktuering i spildevandsanlæg
- Trykforøgelse i drikkevandsforsyning
- Mammut pumper til undervandsbrug



Trafik og kommunikation

- Trykluftbremses i svære og skinnebårne køretøjer
- Signalgivning, indstilling af skiftespor og spæringer
- Vejafmærkningsudstyr
- Startanordninger for store dieselmotorer
- Udblæsning af ballasttanke i undervandsbåde

3. Maskiner til fremstilling af trykluft

Kompressorer (Kompaktorer)

Det er maskiner beregnet til produktion, dvs. komprimering af gasser op til et vilkårligt ønsket tryk.

Ventilatorer

Det er strømningsmaskiner, som anvendes til transport af luft, med nærmest atmosfærisk tryk.

Ved ventilatorer opstår der kun ringe ændring af luftens massefylde og temperatur.

Vakuumpumper

Det er maskiner, der indsuger gasser og dampe gennem pumpen under vakuum.

3.1 Kompressorer (Kompaktorer)

Dynamiske kompressorer er f. eks. turbokompressorer med et turbinehjul, hvor der er monteret skovlblade. Turbinehjulet accelererer gassen, der skal komprimeres. Faste ledeanordninger på skovlene omdanner hastighedsenergien til trykenergi.

3.1.1 Dynamiske kompressorer (Turbokompressorer)

Dynamiske kompressorer bør foretrækkes ved **store mediekvantiteter og lave medietryk**.

3.1.2 Fortrængningskompressorer

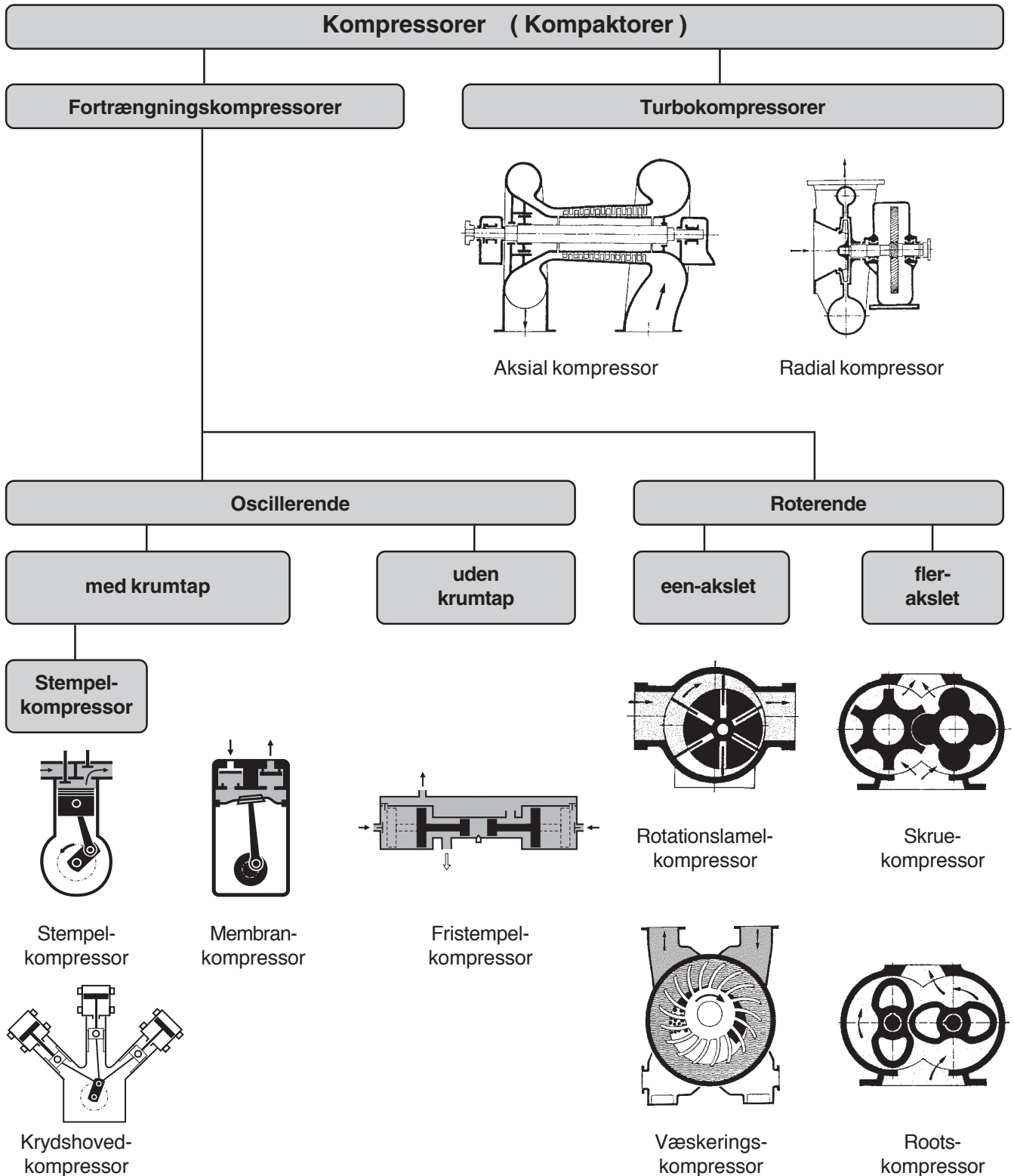
Ved fortrængningskompressorer lukkes kompressionskammeret helt efter indsugning af luften. Ved hjælp af mekanisk kraft reduceres volumen og luften komprimeres.

Fortrængningskompressorer bør foretrækkes ved **mindre mediekvantiteter og høje medietryk**.

3.2 Kompressortyper

Oversigten viser kompressorerne, opdelt efter deres driftsprincip.




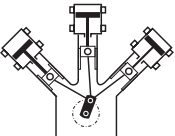
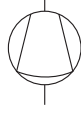

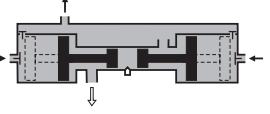



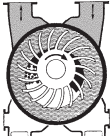





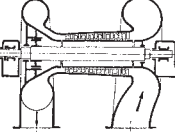

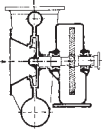
Ved alle kompressorer, skelnes der mellem oliefri og oliesmurt kompressorer.



Maskiner til fremstilling af trykluft

3.2.1 Standard kompressorer

Tabellen viser de typiske anvendelsesområder for standard-kompressorertyper.

Type	Symbol	Virkemåde	Trykområde [bar]	Ydelse [m ³ / h]
Stempel-kompressor			10 (1-trin) 35 (2-trin)	120 600
Krydshoved-kompressor			10 (1-trin) 35 (2-trin)	120 600
Membran-kompressor			Lavt	Lavt
Fristempel-kompressor			Begrænset anvendelse som gasgenerator	
Rotationslamel-kompressor			16	4500
Væskerings-kompressor			10	
Skrue-kompressor			22	750
Roots-kompressor			1,6	1200
Aksial-kompressor			10	200000
Radial-kompressor			10	200000

3.2.2 Stempelkompressorer

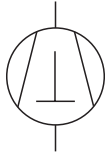


Fig. 3.1:
Symbol for stempelkompressor

Stempelkompressorer indsuger luften ved hjælp af et op- og nedadgående stempel, der komprimerer luften, og støder den ud. Arbejdsgangen styres af suge- og trykventiler.

Ved serieforbinding af flere kompressionstrin er det muligt at fremstille **forskellige trykiveauer**, og ved tilføjelse af flere cylindre at producere **varierende kvantiteter** af trykluft.



Fig. 3.2:
Driftsdiagram for en stempelkompressor

Stempel (Plunger) kompressor

Ved disse kompressorer er stemplet, ved hjælp af en plejlstang, i direkte forbindelse med krumtapakslen.

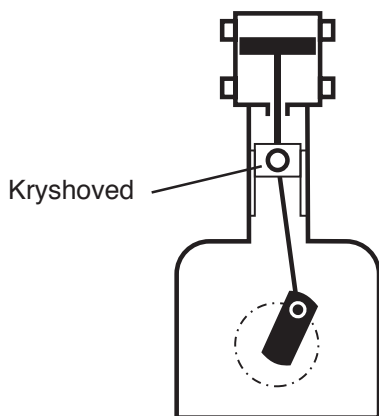


Fig. 3.3:
Driftsdiagram for en krydshovedkompressor

Krydshoved kompressor

Stemplet bevæges af en stempelstang, der har forbindelse til et krydshoved.

Stempelkompressorernes egenskaber:

- Høj virkningsgrad.
- Høje tryk.

Maskiner til fremstilling af trykluft

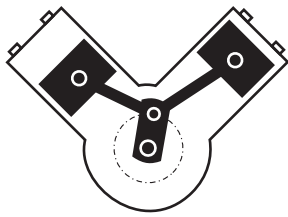


Fig. 3.4:
V-opbygget stempelkompressor

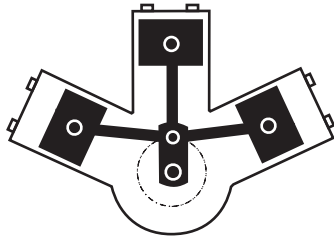


Fig. 3.5:
W-opbygget stempelkompressor

Der skelnes mellem stempelkompressorerne i henhold til **placering af deres cylindre**:

- Stående cylindre.
Der er ingen belastning på stempel eller stempelringe på grund af stemplets vægt.
Små krav til opstillingsarealet.
- Liggende cylindre.
De findes kun som flercylindrede med Boxer opbygning.
Lav tyngdekrafts påvirkning. Denne fordel mærkes kun ved større ydelser.
- V-, W- eller L-type kompressorer.
God mekanisk balance.
Lave krav til opstillingsareal.

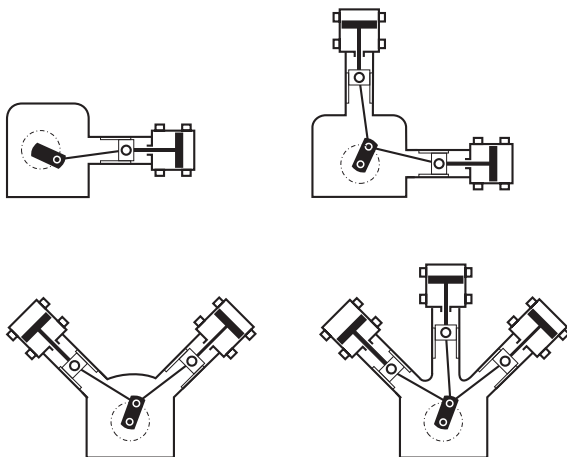


Fig. 3.6:
Krydshoved kompressorer
Liggende, L-type, V-type, W-type

3.2.3 Membrankompressorer

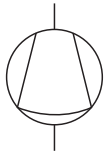


Fig. 3.7:
Symbol for membrankompressor

Membrankompressorer hører til gruppen af fortrængningskompressorer.

En elastisk membran frembringer kompressionen. I stedet for et lineært bevæget stempel, der bevæges mellem to yderpunkter, bevæges membranen med u-lineære vibrationer. Membranen er fæstnet i siderne og bevæges af en plejlstang. Slaglængden afhænger af membranens elasticitet.

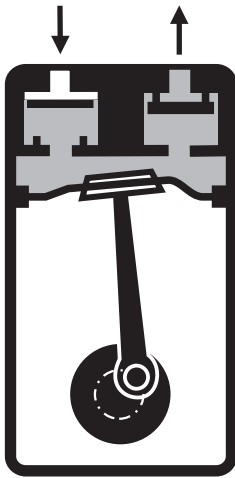


Fig. 3.8:
Driftsdiagram for en membrankompressor

Egenskaber:

- Store cylinder diametre.
- Kort slaglængde.
- God økonomi ved lave ydelser, lave tryk, og ved fremstilling af et vakuum.

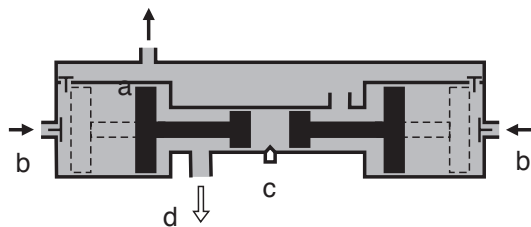
Maskiner til fremstilling af trykluft

3.2.4 Fristempel kompressor

Fristempelkompressoren hører til gruppen af fortrængningskompressorer.

Det er en kompressor med en indbygget to-takts dieselmotor.

Trykluft påvirker de stående stempler i yderstilling og slynger dem indad, hvorved kompressoren startes. Den komprimerede forbrændingsluft i motor-cylinderen driver stemplerne udad igen. Det sker ved forbrænding af det indsprøjtede brændstof. Den indespærrede luft komprimeres. Efter bortledning af den nødvendige skylleluft, afgives største delen af den komprimerede luft gennem en trykholdeventil. Den resterende luft påvirker igen stemplerne indad til en ny arbejds gang. Sugeventilerne sørger for tilførslen af ny atmosfærisk luft til næste cyklus.



- a = Trykluft afgangsåbning
- b = Sugeåbning
- c = Brændstof insprøjtningsspyde
- d = Udstødsåbning

Egenskaber:

- Høj virkningsgrad.
- Vibrationsfri drift.
- Simpelt, men sjældent udnyttet princip.
I praksis skal stempelbevægelserne synkroniseres, og der skal regnes med omfattende anvendelse af styringer.

Fig. 3.9:
Driftsdiagram for en fristempelkompressor

3.2.5 Rotations lamel kompressorer

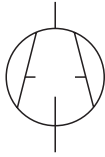


Fig. 3.10:
Symbol for rotations lamel kompressor

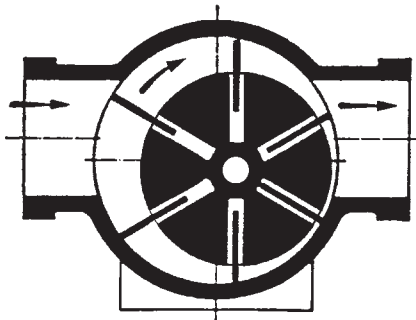


Fig. 3.11:
Driftsdiagram for en rotations lamel kompressor

Rotations lamel kompressorer (Lamel- eller multivinge-hjuls-kompressorer), hører til gruppen, der omfatter de roterende for-trængningskompressorer.

Kompressorhuset og de anbragte roterende stempler danner kamre for indsugning og komprimering af trykmediet.

I det lukkede kompressorhus, roterer en cylindrisk rotor, der er lejret excentrisk. Rotoren er forsynet med radiale slidser i hele længden. I slidserne glider lameller eller glidere i radial retning.

Ved et bestemt rotor omdrejningstal presses gliderne af centrifugalkraften udad mod husets indervægge. Det mellem huset og rotoren liggende kompressionsrum, opdeles ved hjælp af gliderne i separate kamre (Arbejds- resp. trykkamre).

På grund den excentriske lejrning af rotoren, forøges eller formindskes trykkamrenes volumen under omdrejningerne.

Trykkamrene smøres enten ved stænksmøring eller olieindsprøjtning.

Ved at indsprøjte større oliemængder i kompressionskammeret opnår man, udover supplerende smøring, en kølingseffekt og en tætning af gliderne mod indervæggene i kompressorhuset. Den indsprøjtede olie kan udskilles fra luft/olieblandingen efter komprimeringen og ledes tilbage til olieledsløbet.

Egenskaber:

- Meget rolig gang.
- Pulsationsfri og jævn tryklufthyldelse.
- Lille pladsbehov og simpel service.
- Lav virkningsgrad.
- Høje vedligeholdelsesomkostninger på grund af glider-slitage

Maskiner til fremstilling af trykluft

3.2.6 Væskeringskompressor

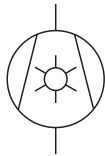


Fig. 3.12:
Symbol for væskeringskompressor

Væskeringskompressoren hører til under gruppen af roterende fortrængningskompressorer.

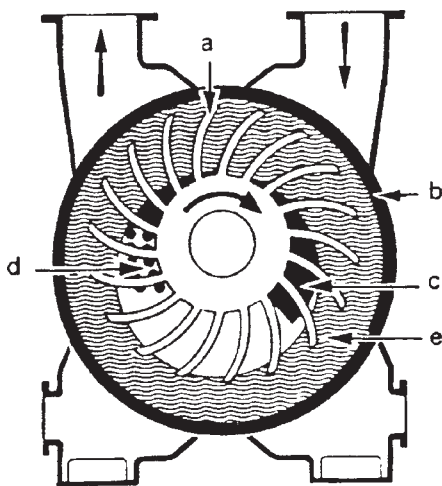
Den excentrisk lejrede akse i huset har fast monterede radiale skovle, der sætter tætningsvæsken i bevægelse. Derved fremkommer en væskering, der tætnet de kamre, der ligger mellem skovlene og kompressorhuset.

Kamrenes volumen ændrer sig under rotationen, hvorved der indsuges, komprimeres og udstødes luft.

Den anvendte væske er i reglen vand.

Egenskaber:

- Oliefri (På grund af oliefrit hjælpemiddel).
- Lav følsomhed overfor snavs og kemikalier.
- Væskeudskiller er nødvendig, da hjælpevæske tilføres kontinuerligt.
- Lav virkningsgrad.



- a = Skovlhjull
- b = Hus
- c = Sugeåbning
- d = Afgangåbning
- e = Væske

Fig. 3.13:
Driftsdiagram for en væskeringskompressor

3.2.7 Skruekompressorer



Fig. 3.14:
Symbol for skruekompressor

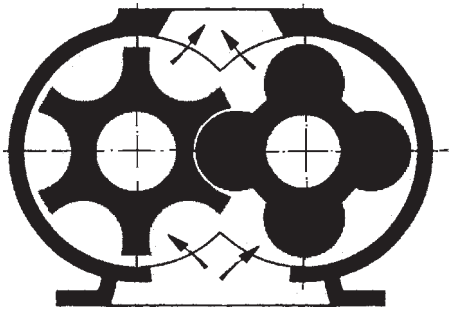


Fig. 3.15:
Driftsdiagram for en skruekompressor

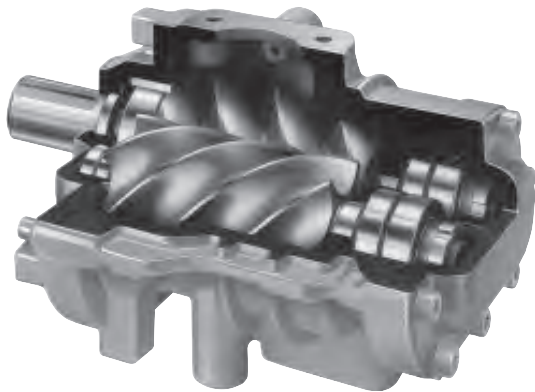


Fig. 3.16:
Snit gennem en skruekompressor

Skruekompressoren er en roterende fortrængningskompressor.

To parallelle rotorer med forskellige profiler, roterer med modsatte omdrejningsretninger i kompressorhuset.

Den indsugede luft komprimeres op til afgangstrykket i kamre, der konstant formindskes på grund rotorenes omdrejninger og specielle udformning. Kamrene dannes af rotorhusets vægge og de i hinanden indgribende, spiralformede gange i begge rotorer.

Oliefri skruekompressorer

Er en skruekompressor, der ikke tætnes med olie. Derfor kommer luften i kompressionskammeret ikke i forbindelse med olie. De to rotorer er forbundet med hinanden ved hjælp af et synkrongear, således at profiloverfladerne ikke kan berøre hinanden.

Skruekompressorer med olieindsprøjtet køling.

På skruekompressorer med olieindsprøjtet køling, drives kun den ene rotor. Den sekundære rotor roterer berøringsfrit med.

Egenskaber:

- Lille størrelse.
- Kontinuerlig trykluftproduktion.
- Lav temperatur på afgangsluften.
(På grund af den olieindsprøjtede køling)

3.2.8 Roots kompressor (eller -blæser)

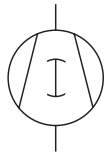


Fig. 3.17:
Symbol for en Roots kompressor

Roots kompressorer hører til gruppen af fortrængingskompressorer.

To symmetrisk formede rotorer, roterer i modsatte retninger i et cylindrisk hus. De er forbundet til hinanden ved hjælp af et synkront drev og arbejder berøringsfrit.

Luften der skal komprimeres føres fra sugesiden ind i kompressorhuset. Den indesluttet i kammeret mellem rotor og huset. I samme øjeblik rotoren når tryksidens kant, strømmer gassen ind i afgangsåbningen og fylder afgangskammeret. Ved yderligere drejning af rotoren presses indholdet af trykkammeret ud mod det fulde modtryk. Der sker en konstant kompression. Kompressoren skal altid arbejde mod det fulde modtryk.

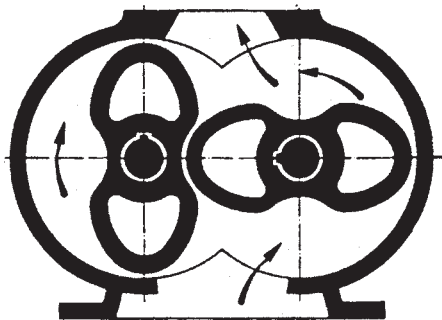


Fig. 3.18:
Driftsdiagram for en Roots kompressor

Egenskaber:

- Ingen slitage på det roterende stempel, derfor kræves ingen smøring.
- Luften indeholder ingen olie.
- Følsom overfor støv og sand.

3.2.9 Aksial kompressor

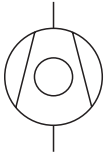


Fig. 3.19:
Symbol for en Turbo-kompressor

Aksial kompressorer er støvningsmaskiner, hvor luften strømmer aksialt i skiftende retninger. Det sker gennem en række roterende og faste skovle..

Luften accelereres først, hvorefter den komprimeres. Skovlene danner diffusoragtige kanaler, i hvilke den kinetiske energi dannes af luftens forsinkede cirkulation og omdannes til tryk-energi.

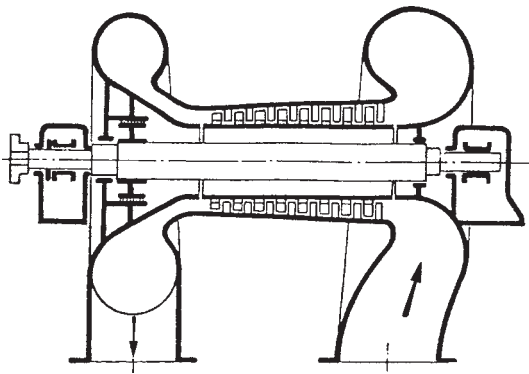


Fig. 3.20:
Driftsdiagram for en aksial kompressor

Egenskaber:

- Ensartet ydelse.
- Intet olieindhold i luften.
- Følsom overfor belastningsforandringer.
- Mindsteydelse er påkrævet.

3.2.10 Radial kompressor



Fig. 3.21:
Symbol for en Turbo-kompressor

Radial kompressorer er strømningmaskiner, hvor luften ledes til centret af et løbehjul.

Ved hjælp af centrifugalkraften tvinges luften ud mod periferien. Trykstigningen opnås ved at den accelererede luft ledes gennem en diffusor (Ledeplade) før den når det næste løbehjul. Den kinetiske energi (Hastighedsenergi) omdannes til statisk trykenergi under denne proces.

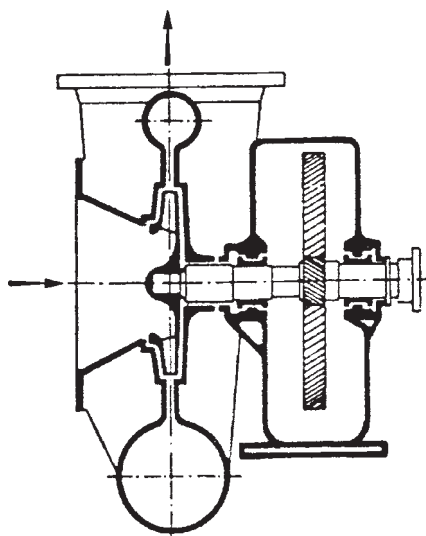


Fig. 3.22:
Driftsdiagram for en radial kompressor

Egenskaber:

- Ensartet ydelse.
- Intet olieindhold i luften.
- Følsom overfor tryk- og belastningsforandringer .
- Minimal lydelse er påkrævet.

3.3 Stempelkompressor

3.3.1 Generelt



Fig. 3.23:
Stempelkompressor

Stempelkompressor virker efter fortrængningsprincippet. Stemplet **indsuger**, luft gennem sugeventilen under det nedadgående stempelslag. Sugeventilen lukker ved starten af den opadgående bevægelse. Luften **komprimeres** og presses ud gennem trykventilen. Stemplet drives af et krumtapdrev, med krumtapaksel og plejstænger.

Stempelkompressor findes som en- og fler-cylindrede, såvel som i et- og flertrins typer.

Flercylindrede kompressor anvendes for højere ydelser og flertrins kompressor er for højere tryk.

Et-trins kompression

Komprimering til sluttrykket med et enkelt stempelslag.

To-trins kompression

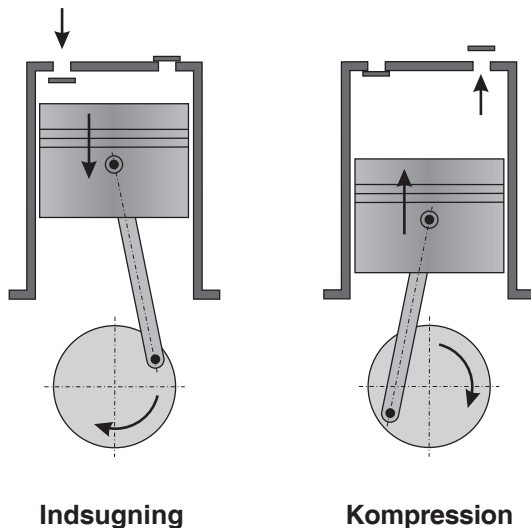
Luften komprimeres i cylinderen for det første trin (Lavtrykstrinet), afkøles i en mellemkøler og komprimeres i det andet trin til sluttrykket (Højtrykstrinet).

Enkeltvirkende kompressor

En kompressionsproces ved en omdrejning af krumtapakslen.

Dobbeltvirkende kompressor

To kompressionsprocesser ved en omdrejning af krumtapakslen.



Stempelhastigheder

Ved kompressor har kompressorens og/eller motorens omdrejningstal kun sekundær betydning. Afgørende for bedømmelse af slitagen er imidlertid stempelhastigheden. Således kan en kompressor med lavt omdrejningstal og stor slaglængde, have høj stempelhastighed. I modsætning hertil kan kompressor med høje omdrejningstal og korte slaglængder, have lave stempelhastigheder.

Fig. 3.24:
Princippet

Maskiner til fremstilling af trykluft

3.3.2 Sugekapacitet - Ydelse

Slagvolumen
Sugekapacitet

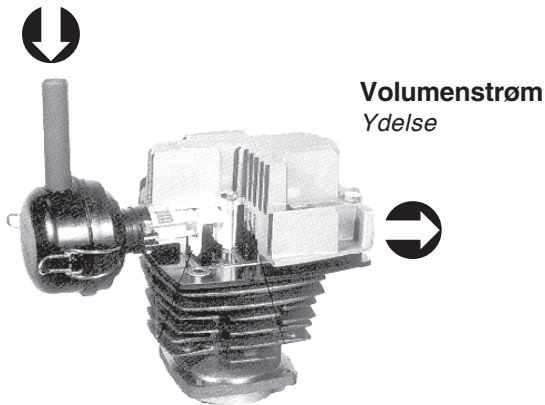


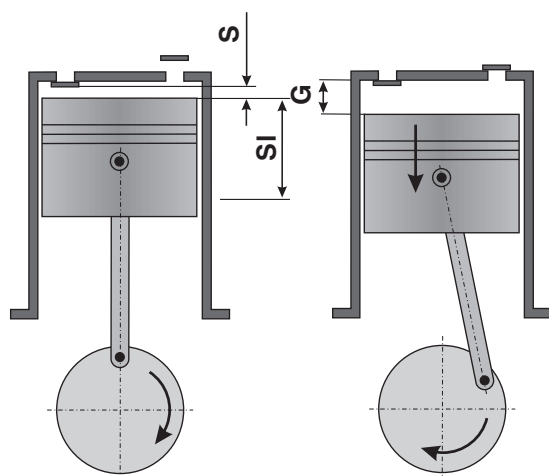
Fig. 3.25:
Sugekapacitet og fri afleveret luft (FAL)

Sugekapacitet - Ydelse
Slagvolumen - Volumenstrøm

Sugekapaciteten (Slagvolumen) er en beregnet værdi ved stempelkompressorer. Det er produktet af cylindervolumen, kompressorens omdrejningstal (Antal slag) og antallet af ind-sugningscylindre. Slagvolumenet angives i l/min, m³/min og m³/h.

Ydelsen (Volumenstrømmen eller fri afleveret luft = FAL) måles i henhold til: VDMA Enhedsblad 4362, DIN 1945, ISO 1217 eller PN2 CPTC2 normerne.

Forholdet mellem ydelsen og slagvolumenet er den volumetriske virkningsgrad.



S = Skadeligt rum
Sl= Slaglængde
G = Genekspansion

Fig. 3.26:
Det skadelige rum

Det skadelige rum

Det skadelige rum er en konstruktionsbaseret værdi. Det ligger mellem det øvre dødpunkt af stemplet og underkanten af sugeventilen.

Det skadelige rum omfatter:

- Konstruktions tolerancer
- Frie rum i ventiler og ventillommer
- Individuelle konstruktive variationer

Under stemplets nedadgående bevægelse ekspanderer luften i det skadelige rum til atmosfærisk tryk (Genekspansion). Først under den fortsatte nedadgående stempelbevægelse, suges der luft ind fra atmosfæren. (Fri indsuget luft).

Forskellen mellem slagvolumenet og ydelsen, opstår på grund af det allerede i sugefilteret opståede trykfald af ind-sugningsluften. Der forekommer desuden lækagetab, opvarmning af ind-sugningsluften og genekspansion fra det skadelige rum.

3.3.3 Køling

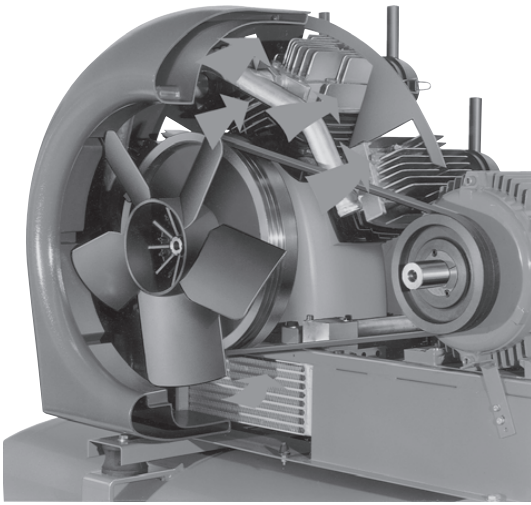


Fig. 3.27:
Køleluftretning på en stempelkompressor

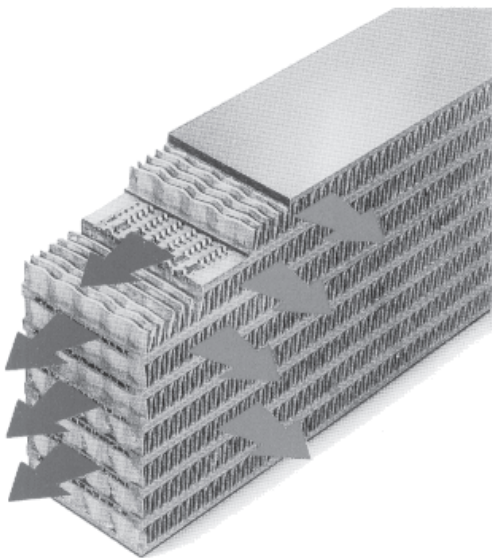


Fig. 3.28:
Luftkølet efter køler med hvirvellameller

Ved enhver kompression opstår der varme. Opvarmningsgraden er afhængigt af kompressorens sluttryk. Desto højere sluttryk, desto højere bliver kompressionstemperaturen.

På grund af sikkerheden, må afgangstemperaturen ikke overskride 220°C ved drift af et-trins kompressorer med oliesmurte kompressionskamre, et motordrev på maksimalt 20 kW og et sluttryk på maksimalt 10 bar.

Ved højere tryk og motorydelser er en temperatur på 200°C tilladt. Ved fler-trins kompression og sluttryk over 10 bar, er den tilladte afgangstemperatur 160°C .

Den største del af kompressionsvarmen skal fjernes. For høje tryklufttemperaturer indebærer et faremoment, da en mindre del af smøreolien optages i tryklufften under kompressionen, som derved bliver let antændelig. En brand i et rør eller kompressoren kan være farlig, men ved højere temperaturer er der øget risiko for en trykluftekspllosion, da tryklufftens indeholdte iltmængde, er væsentligt større end indholdet i atmosfæren.

Derfor er kølingen af den mulige trykluft, indskudt som mellem- og efterkølere for hvert kompressortrin.

Den nødvendige fjernede varmemængde afhænger af volumensstrømmen og sluttrykket. Kompressorer for højere sluttryk har to, tre eller flere cylindre. Disse er anbragt således, at de ligger bedst muligt i køleventilatorens luftstrøm. For at fremme varmeafgivelsen fra cylindrene og deres topstykker, er de ydre flader forsynet med køleribber. Imidlertid er disse ribber ikke tilstrækkelige. Den komprimerede luft skal yderligere nedkøles i en mellemkøler, mellem første og andet trin. Det sker henholdsvis i en efterkøler efter det andet trin. Er denne køling ikke tilstrækkelig, så er det nødvendigt at anvende fler-trinets kompression.

Sikkerhedsreglerne foreskriver, at temperaturen efter det sidste kompressionstrin skal være faldet mindst med mellem 60°C til 80°C . Det er også en fordel for brugeren at have en lav tryklufttemperatur. Den køligere trykluft indeholder mindre vanddamp. Det efter kompressoren installerede udstyr, som trykluftbeholder eller trykluft efterbehandlingsudstyr kan dimensioneres for lavere tryklufttemperatur og derved hjælpe til at nedbringe investeringen. Afgangstemperaturen fra luftkølede stempelkompressorer er normalt ca. $10 - 15^{\circ}\text{C}$ over den omgivende temperatur.

Maskiner til fremstilling af trykluft

3.3.4 Kølemedie

Stempelkompressorer er i reglen **luftkølede maskiner**. Kold luft har den fordel, at den næsten overalt står gratis til rådighed i ubegrænsede mængder.

Køleluften fremstilles af en ventilator. Ventilatoren tvinger køleluften hen over mellemkøleren henholdsvis efterkøleren og kompressoren.

Under trykluftens kompression og afkøling udskilles kondensat i køleren. På grund af trykluftens strømningshastighed medrives kondensatet fra efterkøleren og ender i trykluftrørsystemet og/eller den tilsluttede trykluftbeholder.

3.3.5 Styring af stempelkompressorer

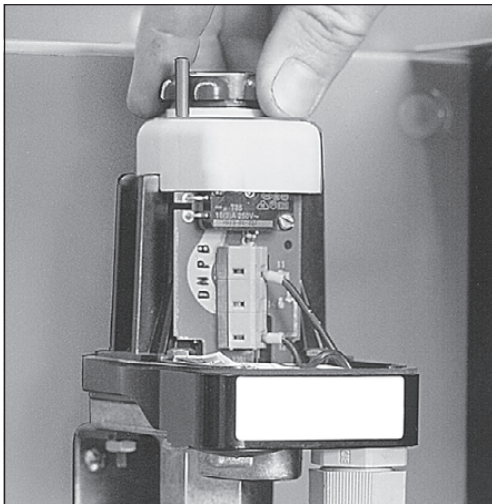


Fig. 3.29:
Pressostat (Trykafbryder)

Stempelkompressorer styres almindeligvis af pressostater, der bør monteres i et område, hvor trykluft ikke pulserer. Trykluftbeholderen er et egnet sted, hvorimod rørledningen mellem kompressoren og beholderen ikke bør vælges.

Pressostaten stopper kompressoren ved det maksimale tryk og starter den igen når trykket ligger 20% under det maksimale tryk. Aktivering sker derfor ved 8:10 bar og 12:15 bar.

Et mindre differenstryk kan ikke anbefales, da kompressoren starter og stopper for hyppigt og dermed øger slitage af kompressor og motor. Motoren kan opvarmes for meget under de hyppige starter. Starttrykket kan indstilles lavere, medens stoptrykket forbliver konstant. Herved opnås det, at kompressoren har længere belastningstider, men også samtidigt opnår længere stillandstider. Stoptiden bør dog aldrig sættes lavere end det minimale tryk, der ønskes i trykluftsystemet.

Stempelkompressorer kører normalt ikke i tomgang, men stopper omgående efter at det maksimale tryk er opnået. (Intermitterende drift).

Stempelkompressorer er særdeles velegnede som top- resp. spidslastmaskiner. Kompressoren starter kun, når der er et forøget trykluftbehov og stopper igen, når det maksimale tryk er nået uden at køre i tomgang. Man sparer ca. 30% af energibehovet, der kræves ved tomgangskørsel.

3.3.6 Fordele ved stempelkompressorer

- Komprimering af næsten alle tekniske gasser er mulig
- Økonomisk kompression op til tryk på 40 bar
- Kan anvendes som (Booster) trykforøger
- Nem styring
- Økonomisk start/stop drift (Ingen tomgangsdrift)

3.3.7 Komponenter til en stempelkompressor

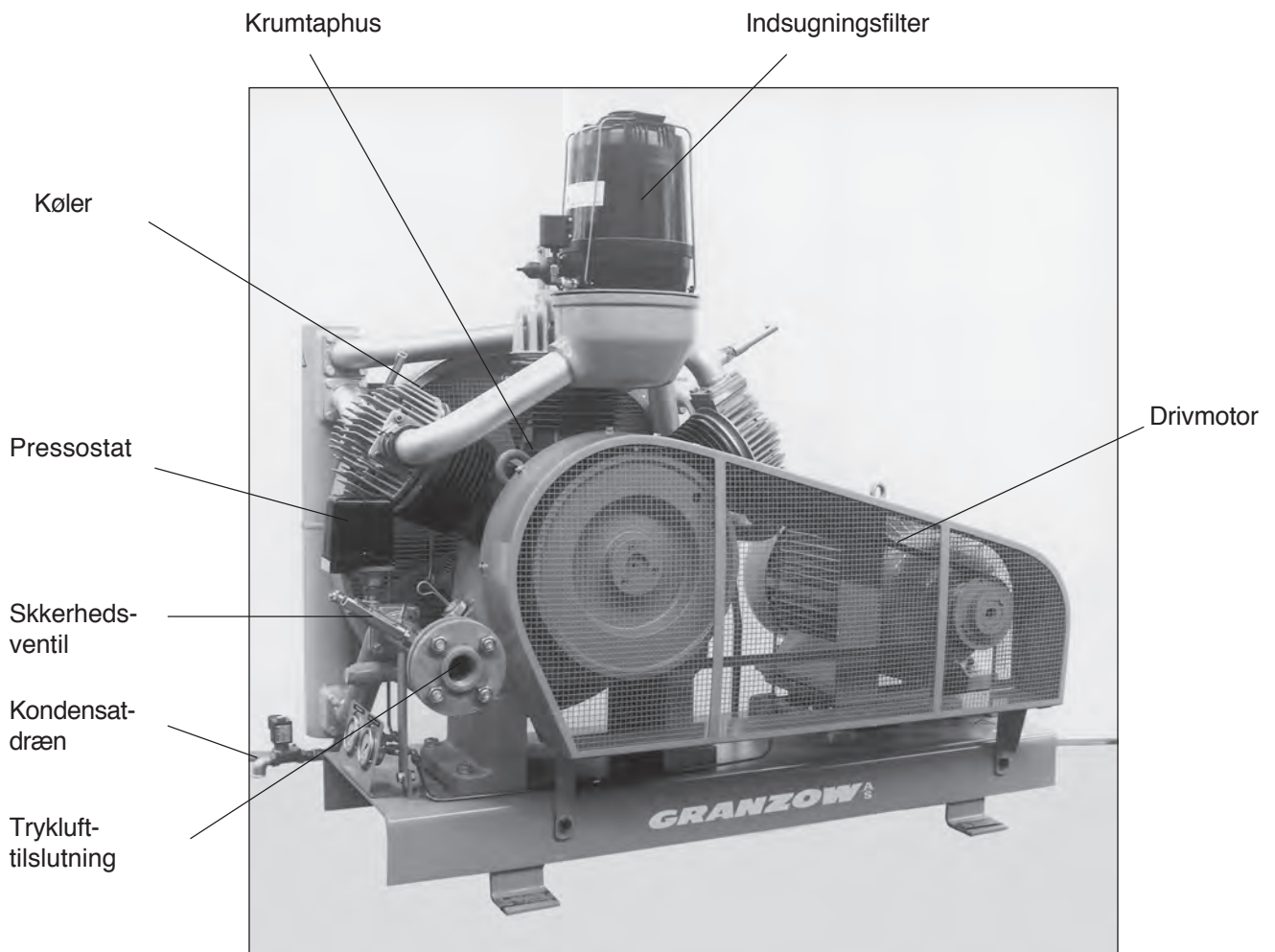


Fig. 3.30:
Layout af en stempelkompressor

3.4 Skruekompressorer

3.4.1 Generelt

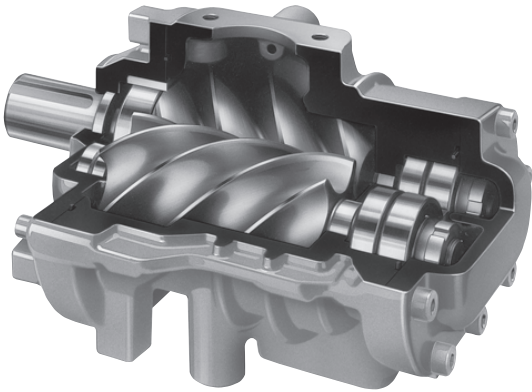


Fig. 3.31:
Snit gennem en skruekompressor

3.4.2 Kompressionsprocessen

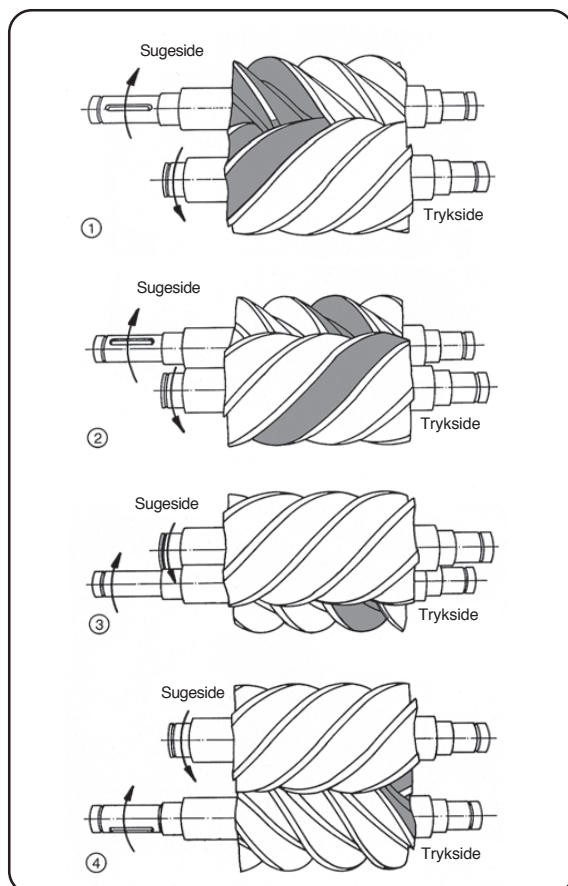


Fig. 3.32:
Kompressionsproces i en skruekompressor

I modsætning til stempelkompressoren, er skruekompressoren en relativ ny konstruktion. Selvom princippet blev udviklet i 1878 af Heinrich Krigar i Hannover, modnedes udviklingen af kompressoren først efter den anden verdenskrig. Det Svenske firma "Svenska Rotor Maskiner" (SRM), udviklede skruekompressoren for seriefremstilling.

Skruekompressorer virker efter fortrængningsprincippet. To parallelle rotorer med forskelligt profil roterer med gensidig modsat omdrejningsretning i et kompressorhus.

Indsugningsluften komprimeres til det ønskede afgangstryk i kamre, der er dannet af rotorerne. På grund af rotationen og rotorernes udformning formindskes kamrene kontinuerligt. Når afgangstrykket er nået presses trykluft ud gennem trykluftafgangen. Kompressionskamrene dannes af kompressorhusets vægge og de i hinanden indgribende spiralformede gange i rotorerne.

Indsugning (1)

Luften suges gennem indsugningsåbningen ind i de åbne skrueprofiler på rotorernes sugeside.

Kompression (2) + (3)

Luftindsugningsåbningen lukkes af den fortsatte rotation af rotorerne, volumenet reduceres og trykket stiger.

Under denne proces indsprøjtes olie.

Trykafgang (4)

Kompressionsprocessen er gennemført. Det ønskede sluttryk er nået, og trykluftafgangen begynder.

3.4.2 Driftsmetode

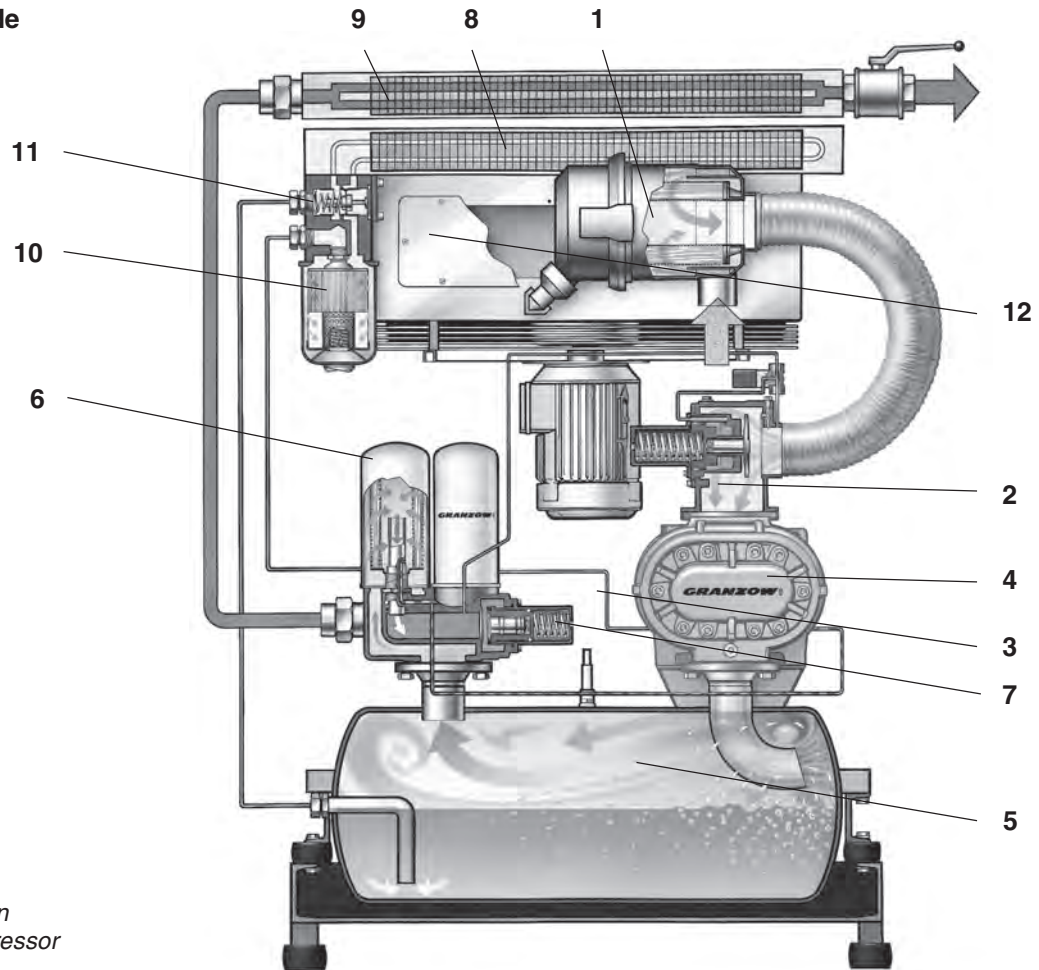


Fig. 3.33:
Røntgenbillede af en
S-Serie skruekompressor

- 1 = Sugefilter med papir-mikrofilterindsats
- 2 = Flerfunktions sugeregulator
- 3 = Olieindsprøjtning
- 4 = Kompressorenhed
- 5 = Olie udskilningsbeholder
- 6 = Oliefinudskiller patron
- 7 = Minimum trykventil
- 8 = Oliekøler
- 9 = Efterkøler parallelt med køleluftstrøm
- 10 = Olie mikrofilter
- 11 = Termostatventil
- 12 = Renholdelsesåbning

Skruekompressoren suger atmosfærisk luft ind gennem sugefiltret **1**, der er forsynet med en mikrofilterindsats, en støvcyklon med visning af tilsmudningsgraden. Efter passage gennem flerfunktions sugeregulatoren **2** strømmer luften til komprimering og komprimeres i kompressorenhed **4**. Olie indsprøjtes i doseret form med en temperatur på ca. 55° C, i kompressorenheden **3**. Olien optager den under kompressionen opståede varme, som derved stiger til ca 85° C. I h.t. EU maskinretningslinierne må den maksimalt optrædende kompressionstemperatur ikke overskride 110° C.

Størstedelen af olien udskilles i den kombinerede luft/olieudskillerbeholder **5**. Restolien i tryklufften fjernes af oliefinudskilleren **6**, så olieindholdet i tryklufften kommer ned på 1-3 mg/m³.

Den komprimerede luft passerer derefter gennem minimum tryk- kontraventilen **7** ind i tryklufft efterkøleren **9**, hvor den nedkøles til en temperatur på kun 8° C over den omgivende temperatur og føres derefter gennem en standard afspærringsventil til tryklufftforbruget. Olien i olieudskilleren nedkøles fra 85° C to 55° C i den rigeligt dimensionerede oliekoeler **8**. Olien passerer derefter gennem et Spin-on oliefilter med udskiftelig filterpatron **10**. En termostatventil **11** i olie kredsløbet sikrer, at kold olie føres direkte udenom oliekoeleren til **4**, så olietemperaturen under alle driftsforhold er ideel.

Maskiner til fremstilling af trykluft

3.4.3 Oliekredsløb

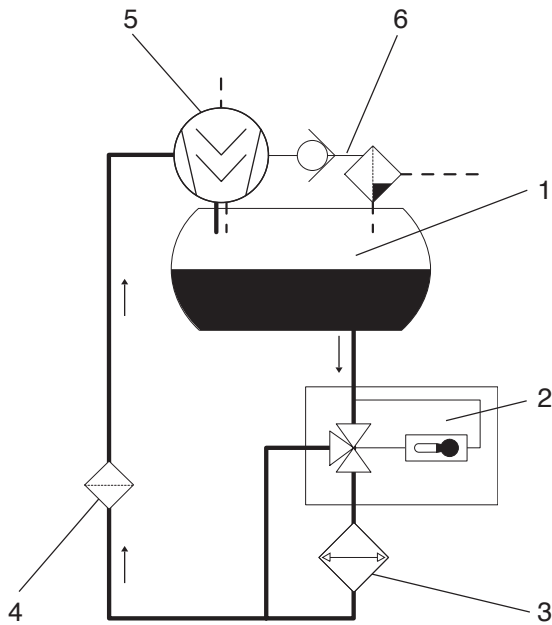


Fig. 3.34:
Komponenter i olieledsløbet

Den i kompressoren indsprøjtede olie har følgende funktioner:

- Fjernelse af kompressionsvarme (Køling)
- Tætning af spalten mellem rotorerne og kompressorhuset
- Smøring af lejerne

1 = Trykluft luft/olie udskilningsbeholder

Olien udskilles fra tryklufften ved at nedsætte strømnings-hastigheden i udskilningsbeholderen og udnytte tyngdekraften til at opsamle olien.

2 = Termisk oliebypassventil

Den termiske oliebypassventil styrer, afhængigt af tempera-turen, oliestrømmen enten gennem oliekoøleren eller gennem et bypass (F. eks. i opstartsfasen) forbi oliekoøleren, så olien altid får den optimale driftstemperatur.

3 = Oliekoøler (Luft- eller vandkoølet)

Oliekoøleren nedkøler den varme olie til driftstemperaturen.

4 = Oliefilter

Oliefilteret optager urenheder fra olieledsløbet.

5 = Kompressorenhed

Den i tryklufften indsprøjtede olie tilbageføres sammen med tryklufften til luft/olieudskilleren, hvor olien udskilles bl. a. ved hjælp af tyngdekraften.

6 = Drænledning

Kompressorenheden trækker al restolie tilbage til olieledsløbet gennem drænledningen.

3.4.4 Pneumatisk kredsløb

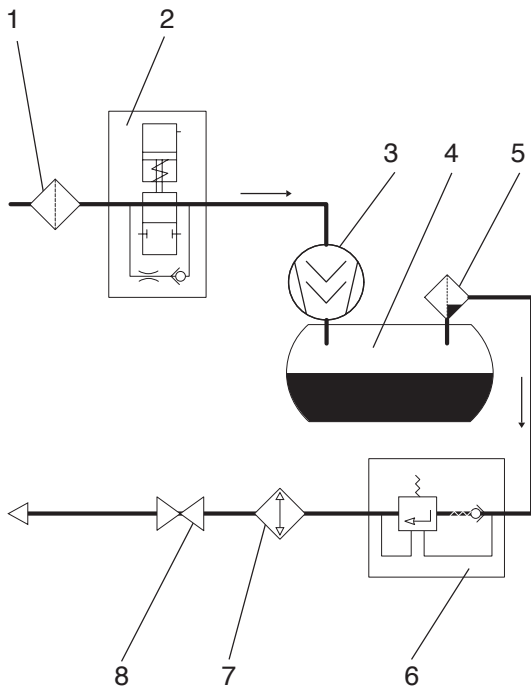


Fig. 3.35:
Komponenter i det pneumatisk kredsløb

Den af rotorerne indsugete luft, komprimeres i kamrene til det endelige sluttryk.

1 = Sugefilter

Sugefilteret renser den af kompressorenheden indsugete luft.

2 = Sugeregulator

Sugeregulatoren åbner (Belastet drift) eller lukker (Tomgang og stop) indsugetningsledningen, afhængigt af kompressorens driftsstatus.

3 = Kompressorenhed

Kompressorenheden komprimerer den indsugete luft.

4 = Trykluft - Luft/oliebeholder

I trykluft - luft/oliebeholderen adskilles trykluffen og olien fra hinanden ved hjælp af tyngdekraften.

5 = Olieudskiller

Olieudskilleren udskiller restolien fra trykluffen.

6 = Minimum tryk/kontraventil

Denne ventil åbner kun, hvis systemtrykket er kommet op på 3.5 bar, hvilket bevirker en hurtig opbygning af systemtrykket under opstarts- og net opbygningfasen og sikrer smøringen. Ved stop sikrer minimum tryk/kontraventilen, at trykluft kan strømme ud gennem kompressoren.

7 = Trykluft/luftefterkøler (Luftkølet)

Trykluffen køles i efterkøleren. Derved kondenseres en stor del af den i luften indeholdte vanddamp.

8 = Afspærringsventil

Med denne afspærres kompressoren fra trykluftsystemet.

Maskiner til fremstilling af trykluft

3.4.5 Varmegenvinding

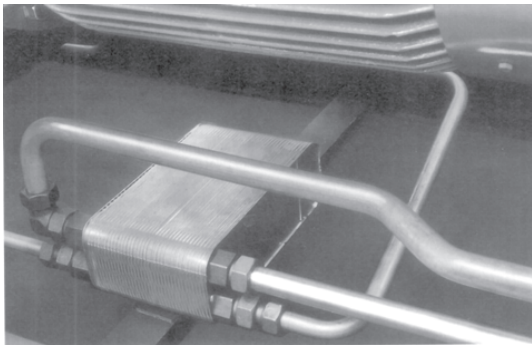


Fig. 3.36:
Varmeveksler

Olien fjerner ca. 85% af den under kompressionen opståede varme. Ved anvendelse af en varmeveksler kan denne varme fjernes fra olien og anvendes til rumopvarmning eller opvarmning af varmtvand.

Returvandet i varmeveksleren opvarmes til $+70^{\circ}\text{C}$. Mængden af opvarmet vand afhænger af differensstemperaturen.

3.4.6 Indsugningsstyring

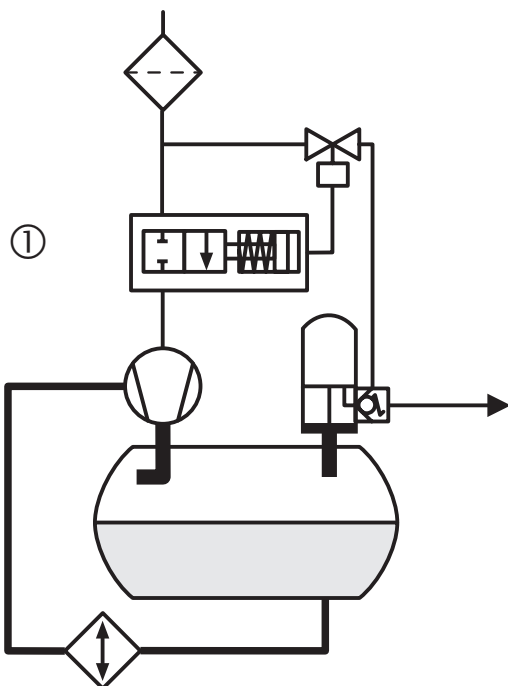


Fig. 3.37:
Indsugningsstyring med ventilationsstyreventil

Sugeregulatoren styrer indsugningsledningen i skruekompressoren.

- Fuldt aflastet opstart ved lukket regulator.
- Lukker hermetisk tæt ved tomgang, stilstand og nødstop.

3.4.7 Fordele ved skruekompressorer

- Når der er et kontinuerligt forbrug af trykluft
- Ideel som grundlastmaskine
- Økonomisk ved 100% drift

3.4.8 Komponenter til en skruekompressor

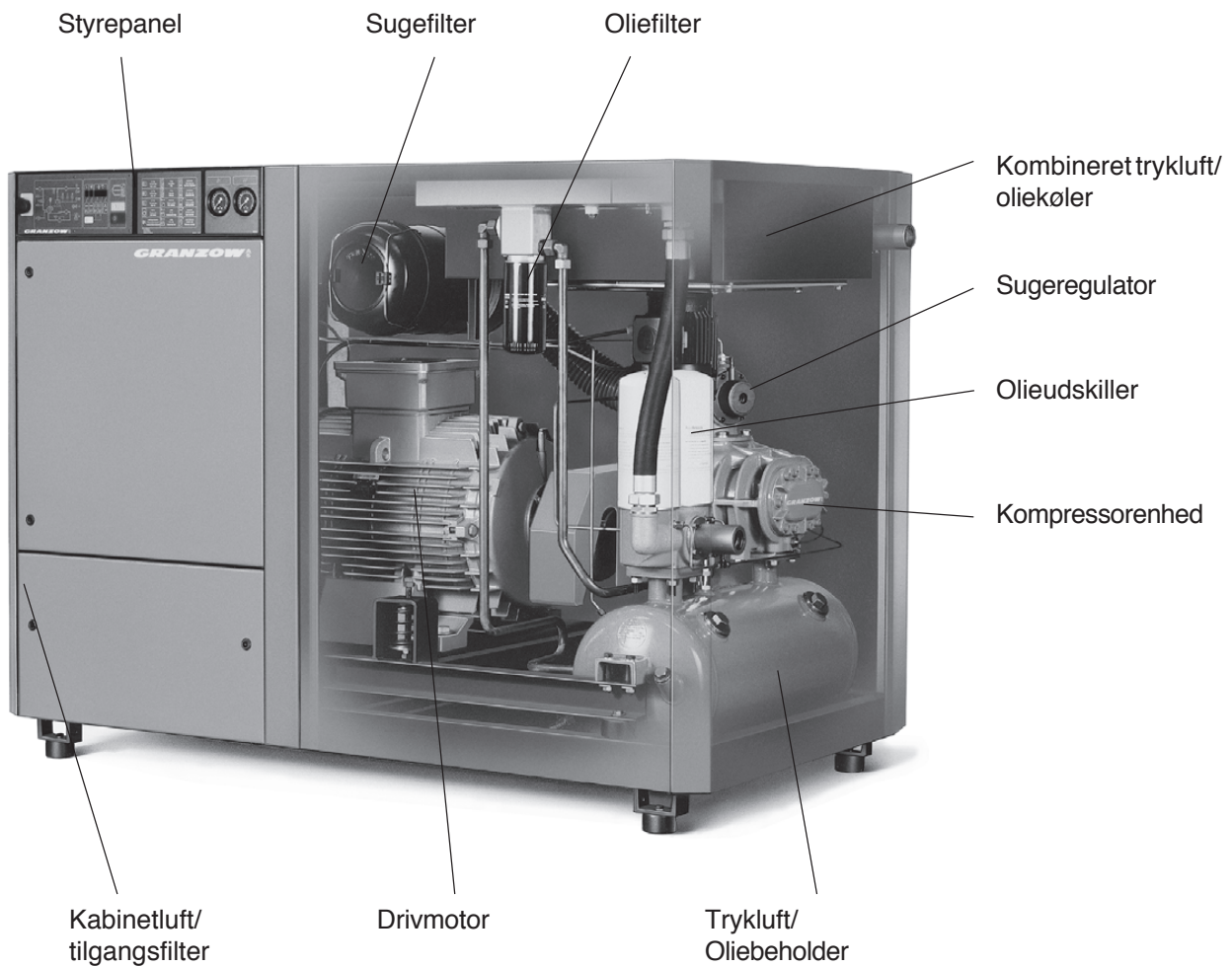


Fig. 3.38:
Layout af en skruekompressor

3.5 Komponenter

3.5.1 Drivmotor

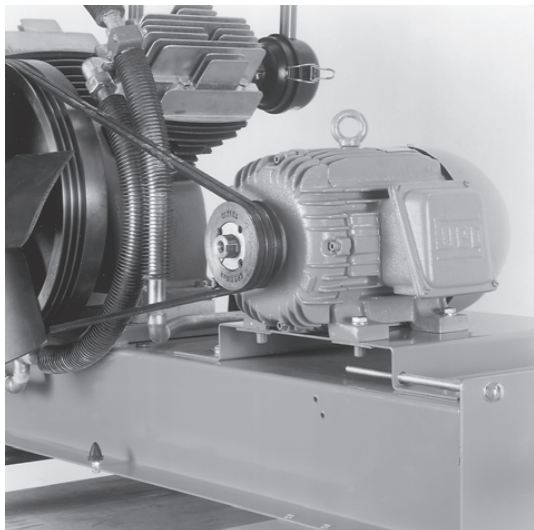


Fig. 3.39:
Drivmotor med kileremme og remstrammer

Drivmotorer er i reglen normale vekselstrømsmotorer, der i de fleste tilfælde kører med et omdrejningstal på ca. 2.900 O/min^{-1} . Det passende kompressor omdrejningstal opnås ved hjælp af kileremstransmissionen.

Den normalt leverede drivmotor er i kapslingsklasse IP 55 d.v.s., den er strålevandstæt og har isolationsklasse F.

3.5.2 Kileremme

Drevet af kompressoren sker gennem kileremstransmissionen.

3.5.3 Remstrammer

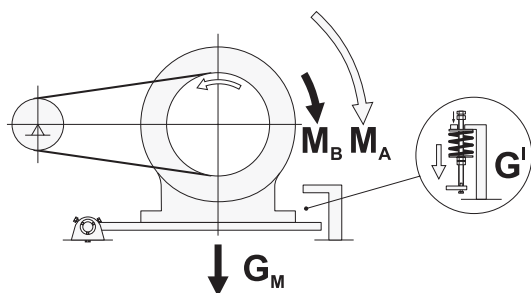


Fig. 3.40:
GM-drivsystem

Motorer for stempelkompressorer placeres normalt på en glideplade for remstramningen. Pladen er fæstnet med en midter-spindel, som sammen med parallelle styr sikrer den nøjagtige opretning af remmene på remskiverne.

3.5.4 Suge- og trykventiler

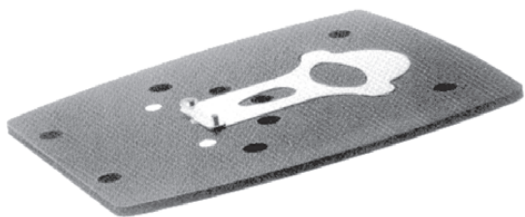


Fig. 3.41:
Tungeventil

Tunge- eller bladventiler styrer indsugningen og trykafgangen i cylinderkammeret på en **stempelkompressor**.

3.5.5 Sikkerhedsventil

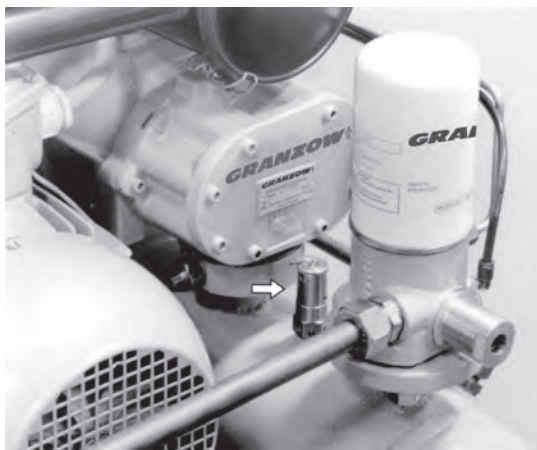
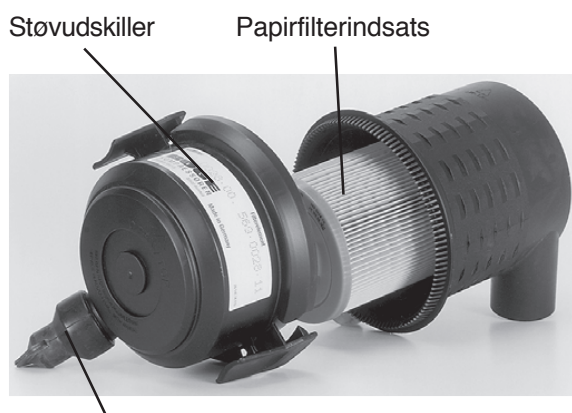


Fig. 3.42:
Sikkerhedsventil på skruekompressor

Sikkerhedsventilen skal ved det nominelle arbejdstryk i trykluftbeholderen, kunne afblæse kompressorens fulde ydelse.

3.5.6 Indsugningsfilter



Automatisk støvudtømning

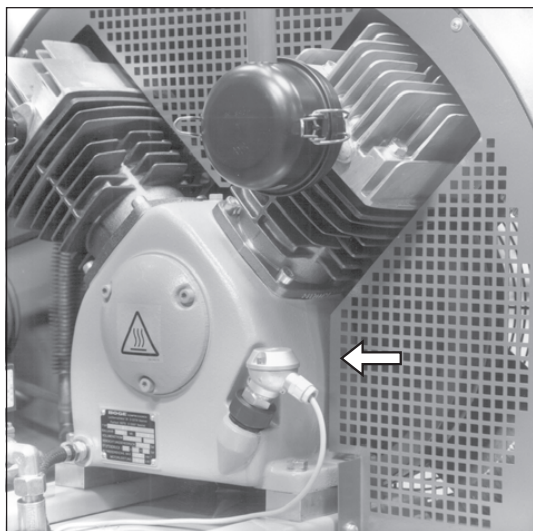
Fig. 3.43:
Indsugningsfilter med papirindsats

Skruekompressorer suger luften ind gennem det i kompressor-kabinettet anbragte indsugningsfilter med papir mikrofilter indsats. Indsugningsfilteret udskiller faste urenheder, så som støvpartikler fra den indsugede luft. Derved nedsættes kompressorens interne slitage og brugerne får tilført ren komprimeret luft.

Under støvede forhold (F.eks., cementfabrikker) anvendes papir filterindsatse, der har en højere udskilningsgrad end vådfiltre hhv. filtre med indsats af plastisk skum.

Filterindsatsene på større kompressorer kan renses. Der findes iøvrigt en mulighed for overvågning af sugefilterets differenstryk, så tilsmudsede filterindsatse kan udskiftes rettidigt.

3.6 Kompressor smøre- og kølemidler



*Fir. 3.44:
Oliestandskontrol med pejlestok*

Kompressorolier er standardiseret i h.t. DIN 51506. Der må ikke anvendes HD (High Density) olier til smøring af kompressorer. HD olier har en tendens til en hurtig emulgering og vil derfor hurtigt tabe deres smørende egenskaber.

Mineralske og syntetiske olier er tilladte. Mineralske olier har under normale driftsforhold, en forventet driftslevetid på 2.000 driftstimer. Syntetiske olier kan udskiftes ved længere intervaller.

Kompressorens oliestand skal kontrolleres regelmæssigt.

Det første olieskift sker efter tilkørselsperioden (ca. 300 til 500 driftstimer).

Kompressorer må ikke tages i drift med for lidt olie. Selv en kort prøvekørsel uden olie (F.eks., for at kontrollere omdrejningsretningen) kan føre til beskadigelser.

Oliefilteret skal renses hver gang olien udskiftes. Oliefilteret skal udskiftes efter hver anden rensning.

Kompressorolier og kondensatet fra oliesmurte kompressorer må ikke bortledes gennem offentlige spildevands afløb. De skal behandles som spildolie iflg. regler fastlagt af miljøstyrelsen.

Stempelkompressorer

Syntetisk baserede olier gør det muligt at forlænge olieskift-intervallerne op til 8.000 driftstimer..

Skruekompressorer

Halv-syntetisk baserede olier forlænger olieskift-intervallerne op til 9.000 driftstimer.

USDA-H1 olier skal anvendes når tryklufften kan komme i berøring med levnedsmidler.

4. Styring af kompressorer

Formålet med styringen er nedsættelse af energiforbruget og slitagen, samt opnåelse af maksimal funktionsduelighed.

Der findes flere styringstyper afhængigt af kompressortype og anvendelse:

- Kompressions sluttrykstyring (Netværkstryk).
- Tilgangstrykket
- Den generelle gennemstrømning.
- Motorens effektbehov.
- Trykluffens indhold af vanddamp:

Styring af sluttrykket har den væsentligste betydning i forbindelse med alle styringsformer.

4.1 Definition af tryk

Netværkstryk p_N [bar_o]

Netværkstrykket p_N er trykket ved kompressorens trykluff-afgang efter kontraventilen. Dette er trykket i trykluff røret.

Netværks-indstillingstrykket p_{Ns} [bar_o]

Netværks-indstillingstrykket p_{Ns} er det laveste tryk, der må være tilstede i trykluffrøret.

Systemtrykket p_s [bar_o]

Systemtrykket p_s er trykket inde i en skruekompressor frem til minimumtryk/kontraventilen.

Starttrykket p_{min} [bar_o]

Starttrykket p_{min} vil ved yderligere sænkning, aktivere kompressoren, enten ved start eller omskiftning til belastet drift. starttrykket p_{min} bør ligge mindst 0,5 bar over netværks-indstillingstrykket p_N .

Stoptrykket p_{max} [bar_o]

Stoptrykket p_{max} er trykket, hvor kompressormotoren afbrydes. Stoptrykket p_{max} for stempelkompressorer bør være ca. 20 % højere end starttrykket (F.eks. starttryk 8 bar, stoptryk 10 bar).

På skruekompressorer bør stoptrykket p_{max} være 0.5 til 1 bar højere end starttrykket (F. eks. starttryk 9 bar, stop- resp. omskiftningstryk 10 bar).

4.2 Driftsstatus

Driftsstatus er den øjeblikkelige tilstand kompressoren befinder sig i og danner grundlag for kompressorstyringen.

4.2.1 Stoppet (Standset) (L_0)

Kompressoren er standset, men klar til drift. Ved indtrædende trykluftbehov overgår den automatisk til belastet drift.

4.2.2 Tomgang (L_1)

Kompressoren kører aflastet uden at komprimere. (Energi anvendt til komprimering er sparet). Når trykluftbehovet opstår skifter anlægget omgående om til belastet drift. Det giver nedsat slitage.

Tomgangsdrift nedsætter antallet af start/stop og reducerer derved slitagen.

Der anvendes flere forskellige metoder til tomgangsstyring:

Ringledningsomskiftning

Suge- og trykledning er direkte sammenkoblet. Der opstår store tryktab, og det er nødvendigt at indskyde en kontraventil i systemet

Tilbagestrømningsstyring

Sugeventilerne på kompressoren er åbne under kompressionsslaget. Luften kan ikke komprimeres, men strømmer tilbage til sugesiden.

Denne metode kan anvendes for ubelastet start, da det første arbejds slag er fuldt aflastet.

Lukning af sugeledning

En ventil lukker for kompressorens sugeside. Indsugningen nedsættes til NUL og der står ingen luft til rådighed til komprimering. Tryktabene er små.

Lukning af trykledning

En ventil lukker trykledningen på kompressoren. Tryklufften kan ikke presses ud. Der kommer ingen volumenstrøm.

4.2.3 Del-last

Kompressorens ydelse styres af det foreliggende trykluftbehov. Energiforbruget falder noget ved lavere ydelse. Netværkstrykket p_N er konstant.

Der findes flere forskellige metoder til styring af volumenstrømmen. Om nødvendigt kan de kombineres:

Styring af omdrejningshastighed

Ændring af motorens omdrejningstal, ændrer også kompressorens ydelse. Ved el-drevne kompressorer ændres omdrejningstallet i reglen ved hjælp af en frekvensomformer.

Ydelsen kan styres kontinuerligt mellem 25-100%.

Annekskammerstyring (Kun stempelkompressorer)

Ved forøgelse af det skadelige rum opstår der en kraftigere gen-ekspansion af tryklufften. Åbner man flere annekser efter hinanden, kan ydelsen trinvist nedsættes. Der findes også varianter, hvor et anneks kan åbnes trinløst.

Tilbagestrømningsstyring (Kun stempelkompressorer)

Kompressorens ydelse nedsættes ved åbning af sugeventilerne under kompressionsslaget. Åbningstiden for sugeventilerne bestemmer størrelsen af det trykluftvolumen, der reduceres.

En dellast-styring på 25 - 100% af ydelsen er mulig. Når sugeventilen er åben under hele kompressionsslaget falder ydelsen til NUL.

Drøvlet indsugningsstyring

En stilbar drøvleventil i sugeledningen nedsætter det indsugede volumen. En af nettrykket aktiveret servotrykventil anvendes for automatisk styring. Når nettrykket falder åbnes drøvleventilen tilsvarende. Kompressoren suger luft og ydelsen stiger. Så snart nettrykket bliver stabilt lukkes drøvleventilen, og kompressoren går over til ubelastet tomgangsdrift.

Ydelsen kan varieres trinløst mellem 0 - 100%. Det elektriske effektbehov falder dog ikke under 70%.

4.2.4 Belastet drift (L_2)

Kompressoren leverer sin maksimale ydelse og har sit maksimale effektbehov.

4.3 Styring af separat kompressor

Kompressorstyringen har to formål:
Energibesparelse og nedsættelse af slitage.

For opnåelse af disse mål bliver kompressorens 4 driftstilstande kombineret indbyrdes i de forskellige styringsmetoder. Den anvendte metode afhænger af driftsforholdene.

4.3.1 Intermitterende styring

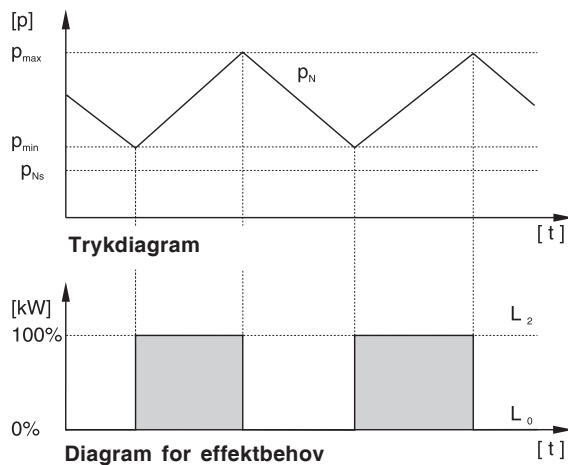


Fig. 4.1 :
Driftsdiagram for intermitterende drift

Ved intermitterende styring aktiverer en pressostat eller et kontaktmanometer kompressoren, afhængigt af nettrykket.

Kompressoren har to driftsformer, **belastet drift (L_2)** og **Standset (L_0)**.

Denne styringsanordning giver den bedste energistatus af alle styreformere. Den kan anbefales, når der står en stor trykluft-beholder til rådighed. Et stort oplagingsvolumen nedsætter endvidere antallet af motorstartene.

- Netværkstrykket p_N stiger til stoptrykket p_{\max} . Kompressoren **Standser (L_0)**.
- Netværkstrykket p_N falder til starttrykket p_{\min} . Kompressoren starter for **belastet drift (L_2)**.

4.3.2 Tomgangsstyring

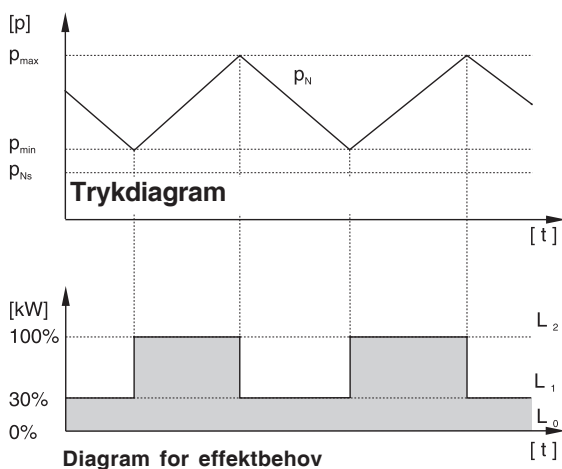


Fig. 4.2 :
Driftsdiagram for tomgangsstyring

En pressostat eller et kontakmanometer aktiverer kompressoren for belastet drift eller tomgang, afhængigt af netværkstrykket.

Under **tomgang (L_1)** kører drivmotoren kontinuerligt, men kompressoren producerer ingen trykluft. Motorens effektbehov falder til ca. 30% af fuldlastbehovet.

Kontinuerlig drift af drevet nedsætter antallet af motorstarter. Det er især ved store motorer, som fremkalder øget slitage.

Tomgangsstyringen anvendes ved pneumatiske systemer med relativt små beholdervolumina, så antallet af tilladelige starter ikke overskrides.

- Nettrykket p_N stiger til stop(omsiftingning)-trykket p_{\max} . Kompressoren skifter om til **tomgang (L_1)**.
- Nettrykket p_N falder til p_{\min} . Kompressoren skifter om til **belastet drift (L_2)**.

4.3.3 Forsinket intermitterende styring

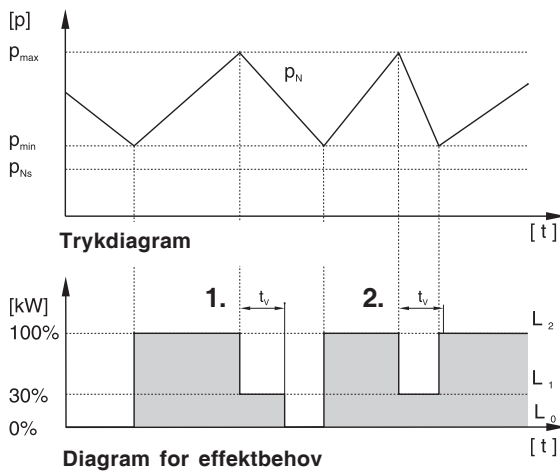


Fig. 4.3
Driftsdiagram for forsinket intermitterende styring

En pressostat eller et kontaktmanometer arbejder sammen med en timer og styrer kompressoren uafhængigt af nettrykket.

Kompressoren gennemløber driftstilstandene **Belastet drift** (L_2), **Tomgang** (L_1) og **Standset** (L_0). Tilstandene er koblet sammen ved hjælp af timeren t_v .

Den forsinkede intermitterende styring samler fordelene fra den intermitterende og tomgangsstyringen. Dette er en mellemvej til et mindre energiforbrug end tomgangsstyringen.

Den forsinkede intermitterende styring arbejder med to omkoblingsvarianter:

1. Variant

- Nettrykket p_N stiger til stoptrykket p_{max} . Kompressoren skifter til **tomgang** (L_1).
- Nettrykket p_N har endnu ikke nået stoptrykket p_{min} efter udløb af tiden t_v . Kompressoren skifter til **stop** (L_0).
- Nettrykket p_N falder under starttrykket p_{min} . Kompressoren skifter til **belastet drift** (L_2).

2. Variant

- Nettrykket p_N stiger til stoptrykket p_{max} . Kompressoren skifter til **tomgang** (L_1).
- Nettrykket p_N når op til starttrykket p_{min} før udløb af tiden t_v . Kompressoren skifter til **belastet drift** (L_2).

Der findes 2 muligheder for at aktivere timeren t_v :

1. Opstart af kompressoren (p_{min}) starter timeren t_v . Dette fremtvinger mindre tomgangstider og dermed lavere energiomkostninger end mulighed 2.
2. Når stoptrykket (p_{max}) er nået, starter timeren t_v .

Styring af kompressorer

4.3.4 Dellast styring

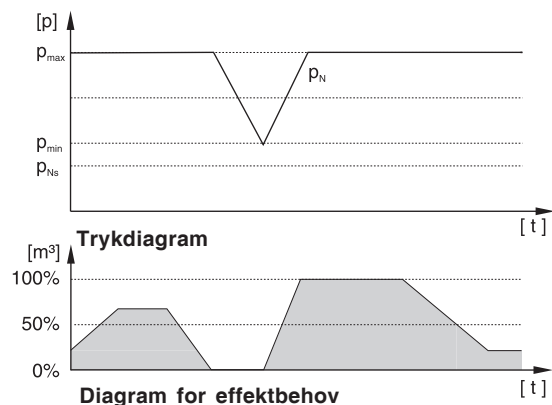


Fig. 4.4
Driftsdiagram for dellast styring

Kompressorens ydelse styres efter det til enhver tid foreliggende trykluftbehov.

Nettrykket p_N er på grund af den variable ydelsesstyring i videst omfang konstant. Svingningerne af p_N varierer, afhængigt af, hvilken metode der er anvendt til dellast styringen.

Dellast styringen anvendes ved anlæg med mindre trykluft oplagingskapaciteter og/eller store udsving i forbruget. Antallet af startintervaller reduceres.

4.3.4.1 Trinløs styring af ydelse

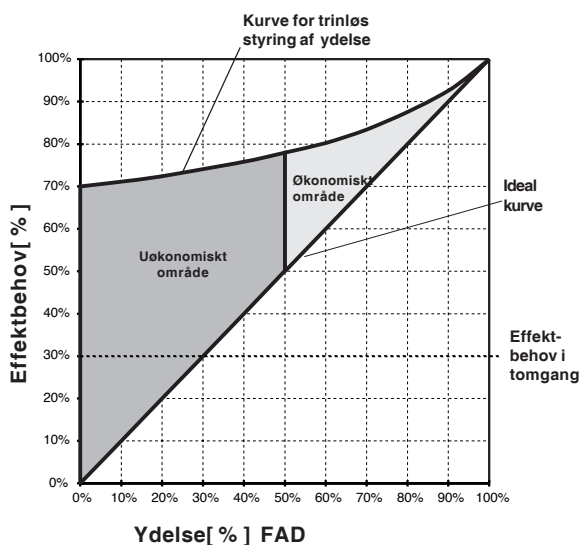


Fig. 4.5a :
Sammenhæng mellem FAD (Free Air Delivery) og effektbehov ved brug af trinløs styring af ydelse.

Udover ARS styreenheden kan der monteres en særskilt **trinløs styring af ydelsen** til skruekompressorer med olieindsprøjtet køling. Denne styring griber ind i aktiveringen af ind-sugningsregulatoren og arbejder efter suge-drøvlings princippet.

4.3.4.2 Frekvens styring

Frekvensreguleret kompressor:

Med en frekvensregulering kan den leverede luftmængde normalt reguleres trinløst fra 25 – 100%

Startstrømmen overstiger ikke motorens fuldlast-strøm, hvilket er en fordel når elinstallationen skal dimensioneres. Den bløde opstart (softstart), forlænger de mekaniske deles levetid.

Der afblæses ikke komprimeret luft fra kompressorens interne system.

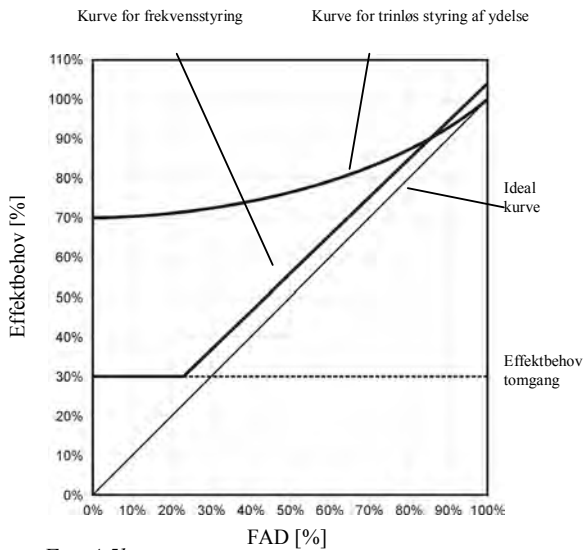


Fig. 4.5b:
Sammenhæng mellem FAD og effektbehov ved brug af trinløs styring og frekvensstyring.

Hvis trykluftbehovet falder til et niveau, der ligger under kompressorens minimums omdrejninger som svarer til 25% af den maximale ydelse, så skifter kompressoren fra regulerbar til traditionel regulering. Det vil sige, at kompressoren reguleres ved hjælp af last, aflast og tomgangskørsel. Man må konkludere, at frekvensregulerede kompressor fungerer bedst, og sparer mest energi i det midterste reguleringsområde. Her vil den optagne effekt være proportionalt med det aktuelle trykluftforbrug. Ved fulde omdrejninger kan man sammenligne den regulerede kompressor med en traditionel kompressor og her vil den regulerbare kompressor optage mellem 3 og 5% mere energi svarende til tabet i frekvensreguleringen.

Sammenligner man en traditionel kompressor med en frekvensreguleret kompressor, vil der fremkomme en yderligere besparelse på grund af et lavere systemtryk. Under ideelle forhold kan frekvensregulering sikre et nettotryk ved 0,1 bar tolerance. Eksempelvis kan en traditionel kompressor laste og aflaste mellem 6 og 7 bar, og den regulerbare kompressor fastholder systemtrykket på 6,5 bar.

Overskudskompression, som er normalt forekommende med traditionelle kompressorer p.g.a forskellen mellem indkoblings- og udkoblingstryk, kan således undgås. Dette kan resultere i energibesparelser på ca. 7% for hver 1 bar overtryk.

P.g.a. dens kontinuerlige og bredt spændende regulering er frekvensstyringen perfekt egnet til meget varierende behov i komprimeret luftforbrug med henblik på både enkelt-kompressorer og spidsbelastningskompressorer i et kompressor-system.

Udover effekt besparelser, kan der være besparelser at hente i selve virksomhedens produktion, idet et konstant systemtryk øger stabiliteten i komponenter der anvendes.

Frekvensregulerede kompressorer kan med fordel vælges, når trykluft behovet ligger mellem 25% og 85% af kompressorens ydeevne. Hvis det aktuelle trykluftbehov ligger mellem 85% og 100%, så anbefales det at vælge en standart kompressor med indbygget proportionalregulering, „P2-Regulering“.

„P2-Reguleringen“ regulerer trinløst indsugnings ventilen på kompressoren, hvorved den optagende effekt reduceres.

Reguleringen er aktiv mellem 50% og 100% af kompressorens ydelse, falder ydelsen til et niveau der ligger under de 50%, laster og aflaster kompressoren på normalt vis.

Belastningen af kompressorens mekaniske dele er optimal når kompressoren er påbygget ”P2-Regulering”.

4.4. ARS styringens egenskaber

ARS-styringen er et indbygget styrings- og overvågnings-koncept, som har to mål:

- Energibesparelse og dermed bedre driftsøkonomi.
- Forlængelse af kompressorens levetid ved hjælp af mindst mulig slitage.

ARS-styringen anvender mikro-elektronisk udstyr på skruekompressorer, for herved at opnå den mest økonomiske intermitterende drift, under hensyntagen til de maksimalt tilladte motorstarter. Ved stempelkompressorer anvendes kun den økonomiske intermitterende drift.

Alle programmerede data opbevares i et (EEPROM) hukommelses-modul som er åbent for elektronisk data tilførsel og sletning. Den gemte information er således også tilstede efter en strømafbrydelse.

Modul-opbygning

ARS-styringen består af standard komponenter, der enkeltvis forefindes på markedet. Det er nemt på et senere tidspunkt at tilføje andre komponenter. På denne måde kan styringerne tilpasses kundens individuelle ønsker. Herved sikres også hurtig udskiftning af eventuelle defekte komponenter, så brugeren kan disponere over kompressoren. Det er derfor ikke nødvendigt at indkalde omkostnings- og tidsrøvende personer for fejlsøgning.

4.4.1 BASIC



Fig. 4.6:

BASIC: simpel styring

5 informationer i hovedmenu.

Symbol display (LC display)

Tryktransmitter styret

Mulighed for opdatering af software

Kode beskyttet

Automatisk program for frostbeskyttelse

Fejl og advarsels informationer

Automatisk start efter strømsvigt

Potentiale-fri kontakter (kan monteres)

4.4.2 RATIO



Fig. 4.7:

RATIO: ekstra informationer (udover BASIC)

Fjern start/stop

Programmerbar lokal/fjern kontrol

Tryktransmitter for systemtryk

Datalog af fejlinformationer

Potentiale-fri kontakter for:

Fællesfejl, service og driftinformationer

4.4.3 PRIME



Fig. 4.8:

PRIME: den totale kontrol (udover RATIO)

Alle indstillinger er tilgængelige i kun 3 display

Stor baggrund belyst display
(320 x 240 pixels)

grafisk display med kurve for systemtrykket

normaltid / indkoblings funktion

4.5 Samtidig styring af flere kompressorer

For tryklufforbrugere med et stort og svingende trykluffbehov, er anvendelsen af en enkelt stor kompressor ikke den gunstigste løsning. I disse tilfælde er et kombineret trykluffanlæg med flere kompressorer et meget bedre alternativ. Større driftssikkerhed og økonomiske aspekter taler stærkt til fordel herfor.

Trykluffbrugere, der er meget afhængige af trykluff kan til enhver tid sikre deres forsyning med et kombineret trykluffanlæg. Falder en kompressor ud eller er under vedligeholdelse, overtager de andre kompressorer opretholdelsen af tryklufforsyningen.

Flere små kompressorer end en enkelt stor, kan lettere tilpasses trykluffbehovet. Tomgangskørslen af en stor kompressor er dyrere end de små stand-by kompressorer. Disse fakta resulterer i den bedre driftsøkonomi.

Et kombineret trykluffanlæg styret af en overordnet styring arbejder økonomisk bedst og giver mindre slitage.

4.5.1 MCS 1 og MCS 2

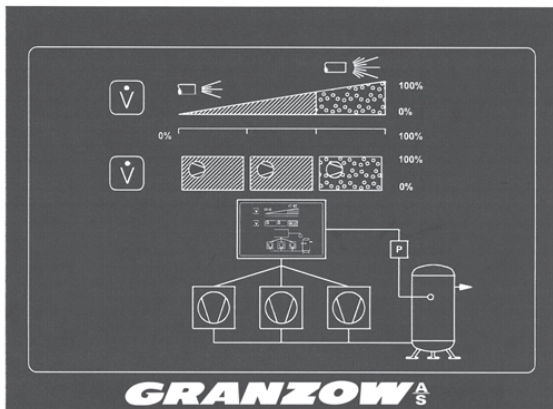


Fig. 4.9 :
Master Control System 2

MCS 1 styrer 2 kompressorer af samme størrelse både ved grund- og topbelastning. Kompressorernes cyklus, start og stop, styres af deres egne pressostater. Styringen har følgende funktioner:

- Cyklusskift ved hjælp af en timer.
- Tidsforskudt start. Resp. stop sker fra styringen ved en trykgraduering.
- Jævn belastning af kompressorerne.
- Konstant tryk indenfor trykområdet.
- Mindste differensstryk $\Delta p = 0,8$ bar

MCS 2 kan styre op til 3 kompressorer af samme størrelse. Det gælder både ved grund-, mellem- og spidslast. Kompressorernes cyklus, start og stop, styres af deres egne pressostater. Opgraderingen til 3 kompressorer og det større differensstryk er den eneste forskel fra MCS 1. Ellers er styringens udstyr ens.

- Mindste differensstryk $\Delta p = 1,1$ bar

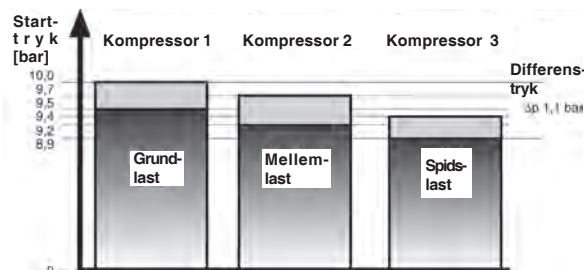


Fig. 4.10 :
MCS 2 kredsløbsdiagram

4.5.2 MCS 3

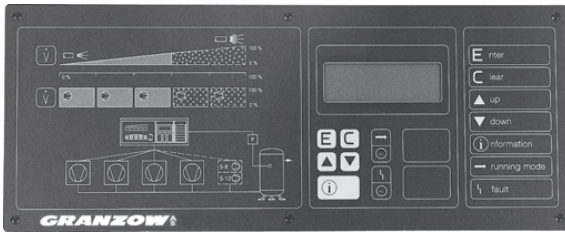


Fig. 4.11 :
Master Control System 3

MCS 3 styrer maksimalt 4, 8, eller 12 kompressorer af samme og /eller forskellig størrelse og type i et anlæg. Alle kompressorer styres af en fælles trykføler på trykluftbeholderen.

MCS 3 har med 0.5 bar et meget lille start differenstryk. De enkelte kompressorer får ikke tilført faste start og stoptryk. Alle kompressorer arbejder indenfor det samme differenstryksområde ($\Delta p = 0.5 \text{ bar}$). Kompressorerne startes og stoppes dynamisk afhængig af forbruget, baseret på indstillede mellemtryksværdier. Trykstigningshastighed hhv. trykfaldet måles. På denne måde starter og stopper kompressorerne dynamisk.

Styringen byder på:

- Dynamisk trykstyring ved mikrostyring i forbindelse med elektronisk trykstyring til et minimum differenstryk på 0.5 bar.
(Ingen overkompression → energi besparende)
- Tidsafhængig inddeling af kompressorerne i rangorden for skifteholdsdrift med forskelligt trykluftbehov.
- Individuel inddeling af de enkelte kompressorer for belastningsgrupper med jævn belastning af kompressorene.
- Indstillelig grundlast-skiftecyklus.
- Uafhængig rotation af kompressorerne i belastningsgrupperne.
- Tidsforsinket start hhv. stop af kompressorerne efter aktivering fra styringen.
- Klart overskueligt LCD-display med 4 x 20 tegnsvisning og klar tekst
- Mulighed for kontrol af alle til- og afgangene ved hjælp af en testmenu.
- Automatisk genindstilling af pressostaterne på de enkelte kompressorer ved eventuelt strømudfald.
- De enkelte kompressorer kan arbejde uafhængigt af **MCS 3 styringen**. De styres da af deres egne pressostater.

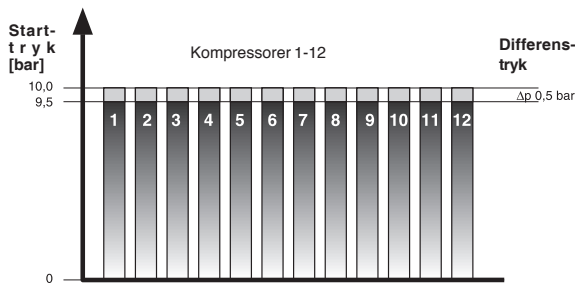


Fig. 4.12 :
MCS 3 kredsløbs diagram

Styring af kompressorer

4.5.3 MCS 4



Fig. 4.13 :
Master Control System 4

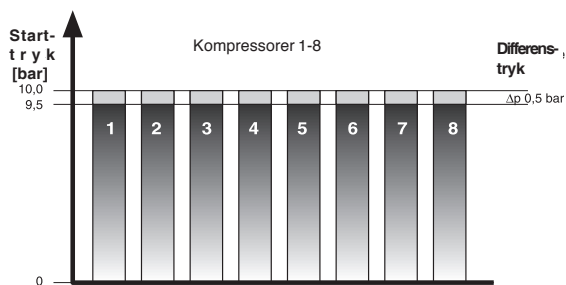


Fig. 4.14 :
MCS 4 kredsløbs diagram

MCS 4 styrer maksimalt 4 eller 8 kompressorer af samme og/eller forskellige størrelser og type i et anlæg. Alle kompressorer styres af en fælles trykføler på trykluftbeholderen.

Ved denne styring dækkes grundbelastningen i reglen af den største kompressor eller den største kompressorkombination. Den mindste kompressor overtager topbelastningen. Kompressorer af samme størrelse skiftes til grundbelastningen.

På grundlag af de programmerede kompressorydelser og de fra trykføleren kommende oplysninger beregner **MCS 4** trykluftbehovet kontinuerligt. Styringen udvælger den kompressor, der ligger tættest op ad det øjeblikkelige behov.

Styringen har følgende funktioner:

- Forbrugsorienteret drift af de forskellige kompressorer og kompressorkombinationer.
- Ideel anvendelse af fordelene ved skrue- og stempelkompressorer.
- Minimalt differensstryk på 0.5 bar. (Ingen overkompression → energi-besparende)
- Tre forskellige trykprofiler pr. døgn ved et timer-program til styringens tilpasning for afvigende trykluftbehov.
- Tidsstyret start/stop af kompressorerne aktiveret af styringen.
- Klart overskueligt LCD-display med 2 x 20 tegnsvisning og klar tekst.
- Mulighed for kontrol af alle til- og afgangene ved hjælp af en testmenu.
- Automatisk genindstilling af pressostaterne på de enkelte kompressorer ved eventuelt strømudfald.
- De enkelte kompressorer kan arbejde uafhængigt af **MCS 4 styringen**. De styres da af deres egne pressostater.
- To potentielt-frie timer kontakter for styring af supplerende komponenter.

4.5.4 MCS 5

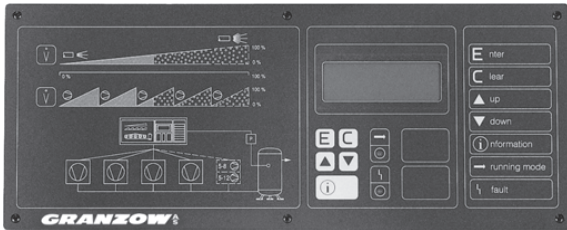


Fig. 4.15 :
Master Control System 5

MCS 5 styrer trinløst maksimalt ydelsen af 4, 8, eller 12 kompressorer af samme størrelse og/eller forskellig størrelse og type i et anlæg. Alle kompressorer styres af en fælles trykføler på trykluftbeholderen. Spidslast kompressoren styrer trinløst anlæggets ydelse svarende til trykluftbehovet.

Når behovet aftager stoppes denne kompressor og mellemlast-kompressoren overtager nu den trinløse styring, afhængigt af rangorden.

Bortset fra udnyttelsen af den trinløse styring ligner **MCS 3** og **MCS 5** hinanden.

Styringen byder på:

- Tilpasning af FAL til trykluftbehovet gennem trinløs ydelsesstyring af spidslast kompressoren.
- Minimale tryksvingninger i trykluftrøret.
- Dynamisk trykstyring ved mikrostyring i forbindelse med elektronisk trykstyring til et minimum differenstryk på 0.5 bar.
(Ingen overkompression → energi besparende)
- Tidsafhængig inddeling af kompressorerne i rangorden for skifteholdsdrift med forskelligt trykluftbehov.
- Individuel inddeling af de enkelte kompressorer for belastningsgrupper med jævn belastning af kompressorerne.
- Indstillelig grundlast-skiftecyklus.
- Uafhængig rotation af kompressorerne i belastningsgrupperne
- Tidsforsinket start hhv. stop af kompressorerne efter aktivering fra styringen.
- Klart overskueligt LCD-display med 4 x 20 tegnsvisning og klar tekst.
- Mulighed for kontrol af alle til- og afgange ved hjælp af en testmenu.
- Automatisk genindstilling af pressostaterne på de enkelte kompressorer ved eventuelt strømudfald..
- De enkelte kompressorer kan arbejde uafhængigt af **MCS 5 styringen**. De styres da af deres egne pressostater.

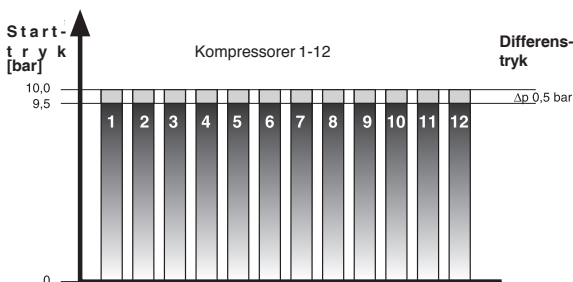


Fig. 4.16 :
MCS 5 kredsløbs diagram

4.5.5 MCS 6

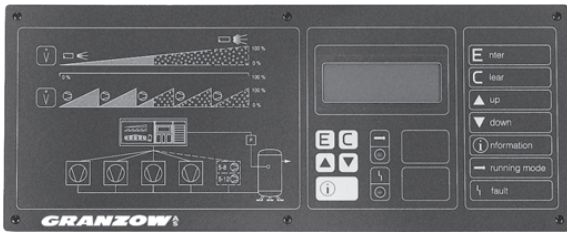


Fig. 4.17 :
Master Control System 6

MCS 6 styrer ved hjælp af frekvensstyring 4, 8 eller 12 kompressorer af samme og/eller forskellig størrelse og type i et anlæg. Alle kompressorer styres af en fælles trykføler på trykluftbeholderen. Spidslast kompressoren styrer i henhold til trykluftbehovet gennem frekvensstyring af omdrejningstallet.

Ved faldende trykluftbehov stoppes denne kompressor og mellemlast-kompressoren overtager styringen ved hjælp af sin egen frekvensstyring.

Bortset fra frekvensstyringen ligner denne styring både **MCS 3** og **MCS 6**.

Styringen har følgende funktioner:

- Tilpasning af FAL til trykluftbehovet gennem omdrejnings-frekvensstyring af spidslast-kompressoren.
- Minimale tryksvingninger i trykluftrørnettet.
- Dynamisk trykstyring ved mikrostyring i forbindelse med elektronisk trykstyring til et minimum differenstryk på 0.5 bar.
(Ingen overkompression → energi besparende)
- Tidsafhængig inddeling af kompressorerne i rangorden for skifteholdsdrift med forskelligt trykluftbehov.
- Individuel inddeling af de enkelte kompressorer for belastningsgrupper med jævn belastning af kompressorerne.
- Indstillelig grundlast-skiftecyklus.
- Uafhængig rotation af kompressorerne i belastnings-grupperne
- Tidsforsinket start hhv. stop af kompressorerne efter aktivering fra styringen.
- Klart oversigtligt LCD-display med 4 x 20 tegnsvisning og klar tekst.
- Mulighed for kontrol af alle til- og afgang ved hjælp af en testmenu.
- Automatisk genindstilling af pressostaterne på de enkelte kompressorer ved eventuelt strømudfald..
- De enkelte kompressorer kan arbejde uafhængig af **MCS 6 styringen**. De styres da af deres egne pressostater.

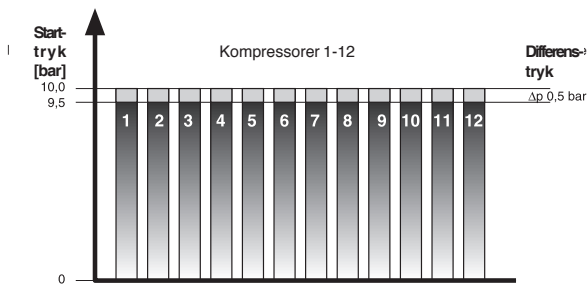


Fig. 4.18 :
MCS 6 kredsløbs diagram

4.5.6 MCS 7

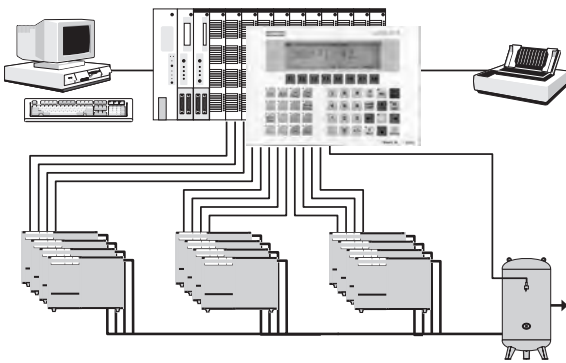


Fig. 4.19 :
Master Control System 7

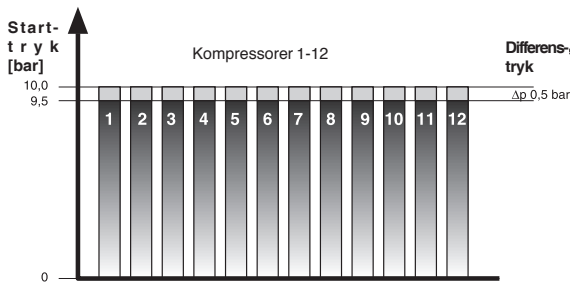


Fig. 4.20 :
MCS 7 kredsløbs diagram

MCS 7 styrer, regulerer og overvåger en total trykluftstation med Siemens-styring **S 5 (S7)** og betjeningspanelet **OP 15**.

Til grundudstyret hører:

- 8 Kompressorer.
- 2 Trykluft-køletørre.
- 2 Trykluft adsorptions tørre.
- 10 Bekomater.
- 2 Potentionelt-frie kontaktkanaler for styring af supplerende udstyr.

MCS 7 leveres i tre udførelser:

Udførelse 1

Udførelse 1 byder på et udvidet software-program af **MCS 3**. Hermed er det muligt at gennemføre en trykafhængig styring af 8 eller 12 kompressorer af samme og/eller forskellig størrelse ved rangordning og timerstyrede programmer.

Udførelse 2

Udførelse 2 byder på et udvidet software-program af **MCS 5**. Hermed er det muligt at gennemføre en trykafhængig styring af 8 eller 12 kompressorer af samme og/eller forskellig størrelse med trinløs regulering af ydelsen.

Udførelse 3

Udførelse 3 byder på et udvidet software-program af **MCS 6**. Hermed er det muligt at gennemføre en trykafhængig styring af 8 eller 12 kompressorer af samme og/eller forskellig størrelse med styrede omdrejninger ved hjælp af frekvensomformning .

Ud over de i grundudstyret indeholdte funktioner kan der tilbydes:

- Driftstilstands journalisering af kompressorerne og de yderligere komponenter i trykluftstationen.
- Lagring af drifts-, advarsels- og fejlmeldinger. Vedligeholdelse og istandsættelse af kompressor-anlægget bliver mere effektivt og simpelt.
- Styring og overvågning af komponenterne i trykluft efterbehandlingsystemet og trykluftrørnettet.
- BUS-kobling med Profibus (Ekstraudstyr) Herved opnås sammenslutning med en central styring.
- Anlægs visualisering i overordnet styringsanlæg (Ekstraudstyr). Med dette udstyr er det muligt at få et samlet overblik over den samlede tryklufforsyning.

5. Trykluft efterbehandling

5.1 Hvorfor efterbehandling?

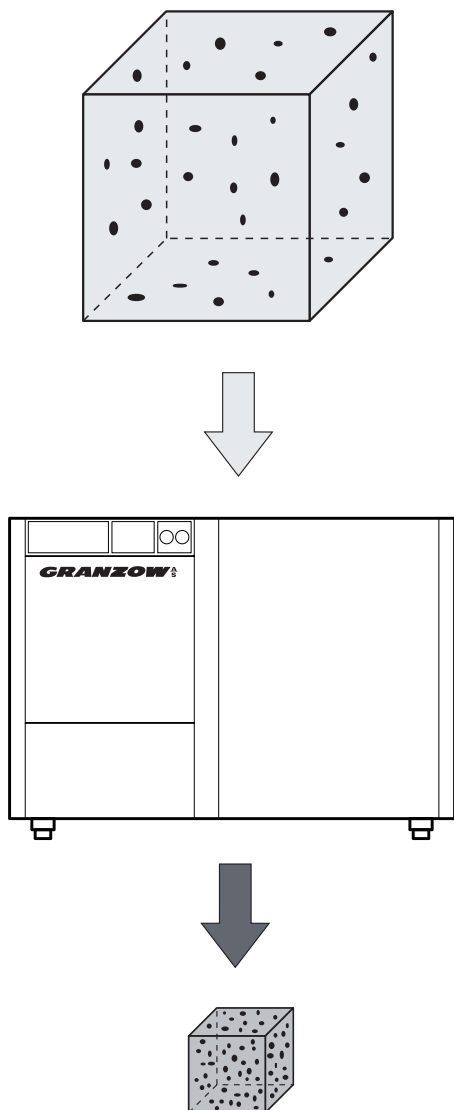


Fig. 5.1 :
Koncentration af urenheder i luften under
kompressionen

Moderne produktionsudstyr kræver trykluft. Mangfoldigheden af dens anvendelsesformål rækker lige fra ubehandlet afblæsningsluft til absolut tør, oliefri og steril trykluft.

Urenhederne i vor omgivende atmosfære, er sjældent synlige for det blotte øje. Til trods herfor kan de få en yderst skadelig indflydelse på funktionssikkerheden af trykluftnettet, det tilsluttede udstyr og medvirke til en dårligere kvalitet af det fremstillede produkt.

1 m³ atmosfærisk luft indeholder mange urenheder, såsom:

- Op til 180 millioner snavspartikler. Deres størrelse er mellem 0.01 og 100 μm .
- 5 - 40 g/m³ vand i form af luftfugtighed.
- 0.01 to 0.03 mg/m³ mineralolie aerosoler og uforbrændte kulbrinter.
- Spor af tungmetaller; såsom bly, cadmium, kviksølv og jern.






































Kompressoren ind suger den atmosfæriske luft, sammen med de urenheder den indeholder og fortætter dem til en mangfoldig koncentration. Ved en kompression på 10 bar_o (10 bar overtryk = 11 bar absolut) stiger koncentrationen 11 gange. I 1 m³ trykluft vil der så være op til 2 milliarder snavspartikler. Smørelolie og slitagepartikler fra kompressoren er også i trykluft.

Den rette trykluftefterbehandling giver følgende fordele :

- Forøget levetid for det anvendte udstyr.
- Forbedret og konstant kvalitet af slutproduktet.
- Intet kondensat og rust i rørledningerne.
- Færre fejlfunktioner.
- Rørledninger uden kondensatsamlere.
- Mindre vedligeholdelse.
- Mindre tryktab på grund af lækager og strømningsmodstand.
- Lavere effektbehov på grund af mindre tryktab.

5.1.2 Planlægnings vejledning

Der anbefales nedenstående efterbehandling af trykluft for de forskellige anvendelsesmåder.

Trykluftens anvendelsesområde	Kvalitetsklasser DIN ISO 8573-1			Kompressor	Støvdudskiller *)	Forfilter	Køletørrer	Mikrofilter	Membrantørrer	Adsorptionstørrer	Forfilter	Aktiv-kulfilter	Aktiv-kulabsorber	Sterilfilter		
	Olie	Partikler	Vand													
Almindelig brugsluft Afbløsningsluft	—	—	—	Skru- og stempelkompressorer												
Sand blæsning Simpel lakering	—	3	—													
Generel arbejdsluft Transportluft Simpel malesprøjtning Sandblæsning med øgede kvalitetskrav	5	3	4													
Pneumatisk håndværktøj Styreluft Process styreudstyr Sprøjtning Konditionering Fluidic elementer	1	1	4													
Dental laboratorier Fotolaboratorier	1	1	4													
Åndedrætsluft Instrumentluft Pneumatik Sprøjtning med højere kvalitetskrav Overfladebehandling	1	1	1-3													
Medicinsk udstyr Transportluft med højere kvalitetskrav Levnesmiddel/delikatessindustrien	1	1	3-4													
Bryggerier Mejerier Farmaceutisk industri	1	1	1-3													

*) Under visse forhold er støvdudskilleren ikke påkrævet.
Kvalitetsklasserne er der gjort rede for på side 77; afsnit 5.3.1

5.1.3 Følgerne af dårlig efterbehandling

Forbliver urenhederne og vandet i tryklufften kan det få ubehagelige følger. Disse berører såvel rørledningsnettet, som det udstyr brugeren anvender. Delvist lider også produkterne ved en dårlig trykluftkvalitet. I visse tilfælde kan anvendelse af trykluft uden forudgående efterbehandling, både være farlig og sundhedsskadelig.

Faste stoffer i tryklufften

- Slitage på pneumatisk udstyr.
Støv og andre partikler fremkalder adhæsion. Denne effekt forværres, hvis partiklerne blandes med smørelie eller fedt, så de danner en slibepasta.
- Sundhedsfarlige partikler.
- Kemisk korrosive partikler.

Olie i tryklufften




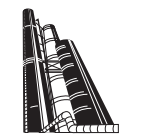
- Gammel og uhensigtsmæssig olie i det pneumatiske system.
Olie overgået til harpiksform kan reducere rørlysningen og give blokeringer, der fører til højere strømningsmodstand.
- Olie-fri trykluft.
Ved pneumatisk transport, kan olien klæbe til det transporterede produkt og fremkalde blokeringer.
I levnedsmiddel- og den farmaceutiskeindustri **skal** tryklufften være fri for olie af sundhedsmæssige årsager.

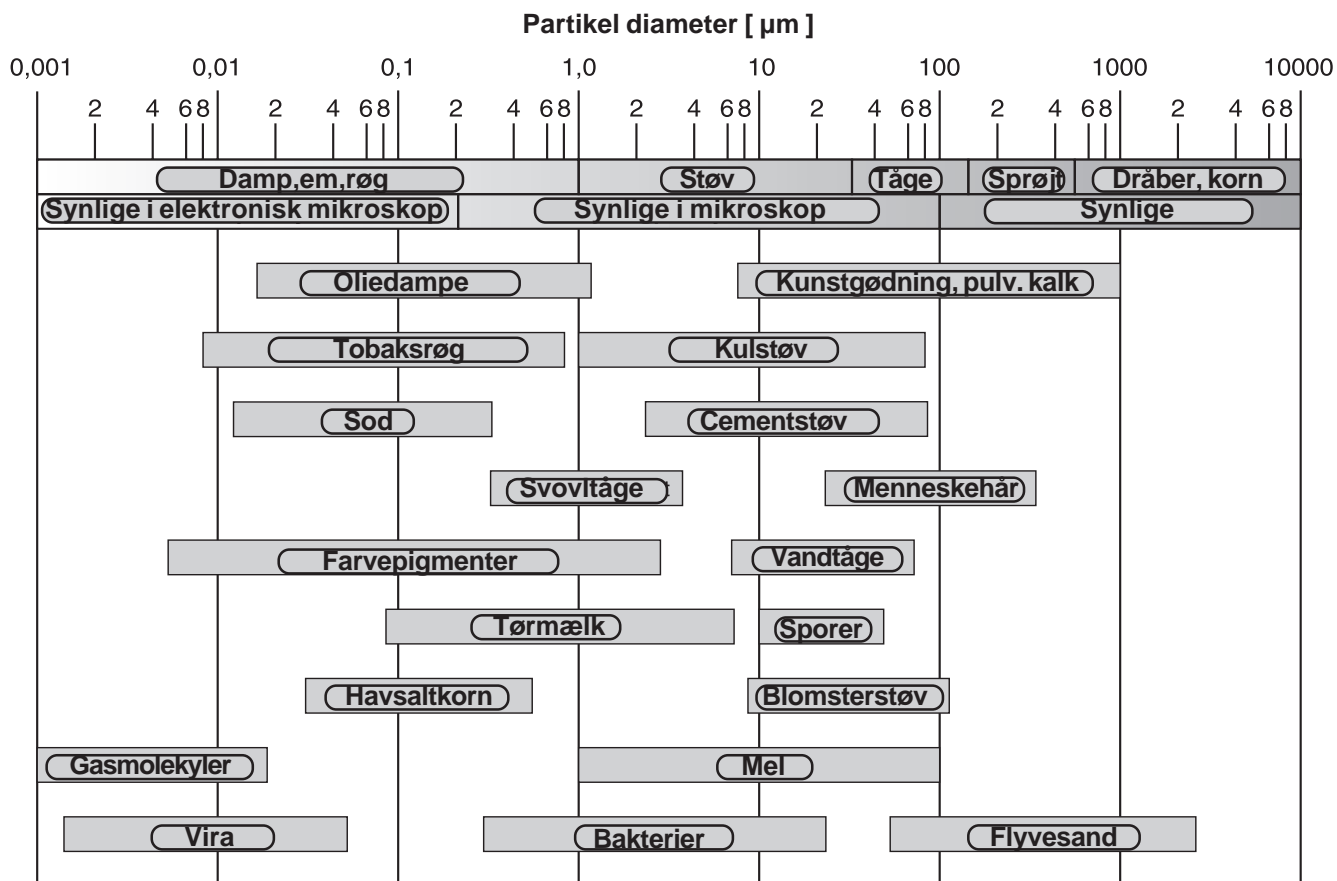
Vand i tryklufften

- Korrosion i det pneumatiske system.
Rust dannes i rørledninger og fremkalder lækager.
- Brudt smørefilm.
Brud i smørefilmen fører til mekaniske fejl.
- Dannelse af galvaniske elementer. (Batterier).
Disse kan opstå når visse metaller kommer i forbindelse med vand.
- Isdannelse i trykluftrørnettet.
Ved frostgrader kan vandet i rørrnettet fryse til is, fremkalde frostskeer, reducere lysningsdiametere og blokere rørene.

5.1.3 Urenheder i luften

I den omgivende atmosfære, findes der partikler som ikke er synlige for det blotte øje. Dette kapitel indeholder et generelt overblik over arten, størrelsen og koncentrationen af disse partikler.

Koncentration af partikler i den atmosfæriske luft	Grænseværdier [mg/ m ³]	Gennemsnitligt [mg/ m ³]
 I det åbne land	5 - 50	15
 I byen	10 - 100	30
 I industriområder	20 - 500	100
 I store fabriksanlæg	50 - 900	200



5.2 Vand i trykluft

5.2.1 Fugtighed i atmosfæren

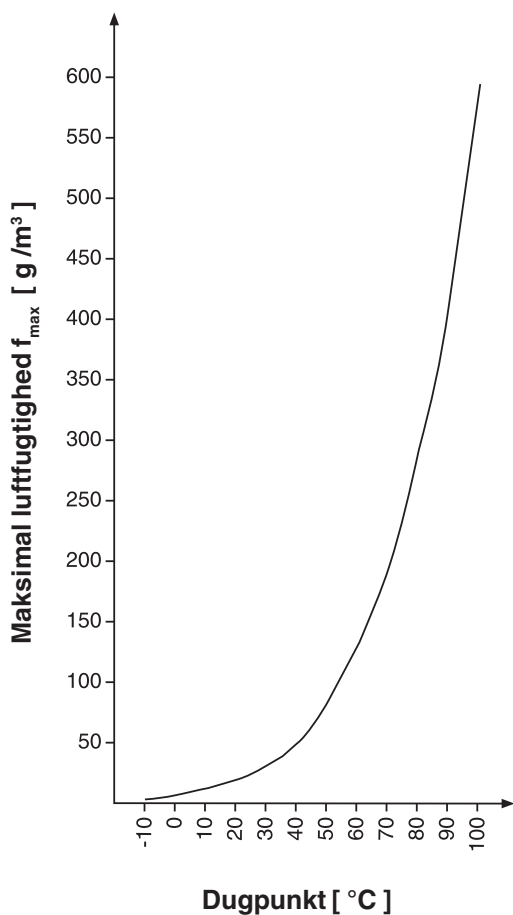


Fig. 5.2 :
Maksimal fugt afhængigt af dugpunktet

I den atmosfæriske luft forefindes altid en vis mængde vand-damp. Indholdsmængden afhænger af tid og lokalitet og betegnes som luftfugtighed. Ved en given temperatur kan et fastlagt luftvolumen kun indeholde en vis mængde vanddamp. I reglen indeholder den atmosfæriske luft den mængde af vanddamp, der er bestemt af hygrometeret eller niveauet kan udtrykkes som relativ fugtighed (RH).

Maksimal luftfugtighed f_{\max} [g/m³]

Udtrykket maksimal luftfugtighed f_{\max} (Mætningsmængde), betegner den mængde vanddamp 1 m³ fri luft kan indeholde ved en given temperatur. Den maksimale luftfugtighed afhænger ikke af trykket.

Absolut luftfugtighed f [g/m³]

Absolut luftfugtighed f er den i virkeligheden tilstedeværende fugtmængde i 1 m³ fri luft.

Relativ luftfugtighed φ [%]

Den relative luftfugtighed φ er den procentvise forskel i forhold til den maksimale luftfugtighed.

$$\varphi = \frac{f}{f_{\max}} \times 100 \%$$

φ = relativ fugtighed [%]

F = absolut fugtighed [g/m³]

F_{\max} = maksimal fugtighed [g/m³]

Da den maksimale luftfugtighed f_{\max} er afhængig af temperaturen vil den relative luftfugtighed ændres med denne, selv om den absolute luftfugtighed forbliver konstant. Ved nedkøling til dugpunktet, stiger den relative luftfugtighed til 100 %.

5.2.2 Dugpunkter

Atmosfærisk dugpunkt [°C]

Atmosfærisk dugpunkt er temperaturen, hvortil **atmosfærisk** luft (1 bar abs) kan nedkøles uden at afgive vand.

Det atmosfæriske dugpunkt har ikke væsentlig betydning for trykluftssystemer

Trykdugpunkt [°C]

Trykdugpunktet er temperaturen, hvortil **trykluft** kan nedkøles uden at afgive kondensat. Trykdugpunktet er afhængigt af det endelige kompressionstryk. Hvis trykket falder, sænkes også trykdugpunktet.

5.2.3 Luftens indhold af vanddamp

Nedenstående tabel angiver den maksimale luftfugtighed ved et bestemt trykdugpunkt.

dugpunkt [°C]	maks. fugt [g/ m ³]	dugpunkt [°C]	maks. fugt [g/ m ³]	dugpunkt [°C]	maks. fugt [g/ m ³]	dugpunkt [°C]	maks. fugt [g/ m ³]	dugpunkt [°C]	maks. fugt [g/ m ³]	dugpunkt [°C]	maks. fugt [g/ m ³]	dugpunkt [°C]	maks. fugt [g/ m ³]
+100°	588,208	+76°	248,840	+52°	90,247	+28°	26,970	+4°	6,359	-19°	0,960	-43°	0,083
+99°	569,071	+75°	239,351	+51°	86,173	+27°	25,524	+3°	5,953	-20°	0,880	-44°	0,075
+98°	550,375	+74°	230,142	+50°	82,257	+26°	24,143	+2°	5,570	-21°	0,800	-45°	0,067
+97°	532,125	+73°	221,212	+49°	78,491	+25°	22,830	+1°	5,209	-22°	0,730	-46°	0,060
+96°	514,401	+72°	212,648	+48°	74,871	+24°	21,578			-23°	0,660	-47°	0,054
+95°	497,209	+71°	204,286	+47°	71,395	+23°	20,386	0°	4,868	-24°	0,600	-48°	0,048
+94°	480,394	+70°	196,213	+46°	68,056	+22°	19,252	-1°	4,487	-25°	0,550	-49°	0,043
+93°	464,119	+69°	188,429	+45°	64,848	+21°	18,191	-2°	4,135	-26°	0,510	-50°	0,038
+92°	448,308	+68°	180,855	+44°	61,772	+20°	17,148	-3°	3,889	-27°	0,460	-51°	0,034
+91°	432,885	+67°	173,575	+43°	58,820	+19°	16,172	-4°	3,513	-28°	0,410	-52°	0,030
+90°	417,935	+66°	166,507	+42°	55,989	+18°	15,246	-5°	3,238	-29°	0,370	-53°	0,027
+89°	403,380	+65°	159,654	+41°	53,274	+17°	14,367	-6°	2,984	-30°	0,330	-54°	0,024
+88°	389,225	+64°	153,103	+40°	50,672	+16°	13,531	-7°	2,751	-31°	0,301	-55°	0,021
+87°	375,471	+63°	146,771	+39°	48,181	+15°	12,739	-8°	2,537	-32°	0,271	-56°	0,019
+86°	362,124	+62°	140,659	+38°	45,593	+14°	11,987	-9°	2,339	-33°	0,244	-57°	0,017
+85°	340,186	+61°	134,684	+37°	43,508	+13°	11,276	-10°	2,156	-34°	0,220	-58°	0,015
+84°	336,660	+60°	129,020	+36°	41,322	+12°	10,600	-11°	1,960	-35°	0,198	-59°	0,013
+83°	324,469	+59°	123,495	+35°	39,286	+11°	9,961	-12°	1,800	-36°	0,178	-60°	0,110
+82°	311,616	+58°	118,199	+34°	37,229	+10°	9,356	-13°	1,650	-37°	0,160	-65°	0,00640
+81°	301,186	+57°	113,130	+33°	35,317	+9°	8,784	-14°	1,510	-38°	0,144	-70°	0,00330
+80°	290,017	+56°	108,200	+32°	33,490	+8°	8,234	-15°	1,380	-39°	0,130	-75°	0,00130
+79°	279,278	+55°	103,453	+31°	31,744	+7°	7,732	-16°	1,270	-40°	0,117	-80°	0,00060
+78°	268,806	+54°	98,883	+30°	30,078	+6°	7,246	-17°	1,150	-41°	0,104	-85°	0,00025
+77°	258,827	+53°	94,483	+29°	28,488	+5°	6,790	-18°	1,050	-42°	0,093	-90°	0,00010

Trykluft efterbehandling

5.2.4 Kondensatmængde under kompressionen

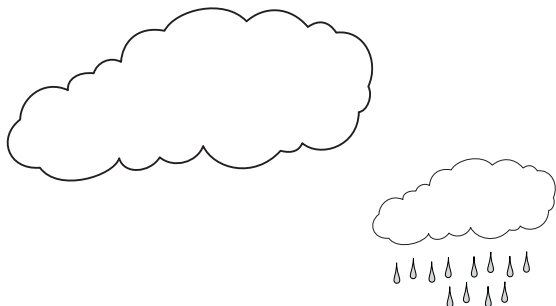
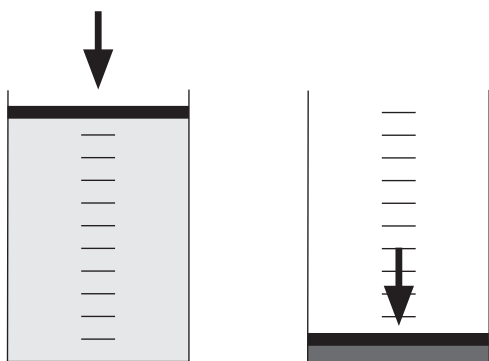


Fig. 5.3 :
En våd svamp presses sammen

Luft indeholder altid vand i form af damp. Da luften i modsætning til vand kan komprimeres, udskilles vandet under kompressionen i form af kondensat. Den maksimale luftfugtighed afhænger af temperaturen og volumenet, og er ikke afhængig af vandmængden.

Atmosfærisk luft kan sammenlignes med en fugtig svamp. Den kan ikke i sammentrykket tilstand optage en vis mængde vand. Trykker man nu svampen sammen løber en del af vandet ud. Uanset, hvor hårdt der trykkes på svampen, vil der altid være en rest af vand. Trykluft reagerer på lignende måde.

Det følgende eksempel viser tydeligt, hvor stor kondensatmængde q_c der kan forventes i komprimeret luft. Eksemplets udgangspunkt er hentet en varm sommerdag med 35° C og 80% luftfugtighed.



$V_1 = 6,5 \text{ m}^3$	$V_2 = 0,59 \text{ m}^3$
$p_1 = 0 \text{ bar}_o = 1 \text{ bar}$	$\text{abs } p_2 = 10 \text{ bar}_o = 11 \text{ bar abs}$
$T = 35^\circ \text{ C}$	$T = 35^\circ \text{ C}$
$\varphi_1 = 80 \%$	$\varphi_2 = 100 \%$
$f_{\text{max}} = 39,286 \text{ g/m}^3$	

Fig. 5.4 :
Kondensatmængde under kompressionen

$$q_c = \frac{V_1 \times f_{\text{max } 1} \times \varphi_1}{100} - \frac{V_2 \times f_{\text{max } 1} \times \varphi_2}{100}$$

$$q_c = \frac{6,5 \times 39,286 \times 80}{100} - \frac{0,59 \times 39,286 \times 100}{100}$$

$$q_c = \frac{\text{m}^3 \times \text{g/m}^3 \times \%}{\%} - \frac{\text{m}^3 \times \text{g/m}^3 \times \%}{\%}$$

$$q_c = 181,108 \text{ g}$$

q_c	= udskilt kondensat	[g]
V_1	= Volumen ved 0 bar _o	[m ³]
V_2	= Volumen at 10 bar _o	[m ³]
$f_{\text{max } 1}$	= maks. fugt ved 35° C	[g/m ³]
φ_1	= relativ luftfugtighed ved V_1	[%]
φ_2	= relativ luftfugtighed ved V_2	[%]

Da vandet som udskilles fra den komprimerede luft ikke kan lagres, vil luftfugtigheden φ af den komprimerede luft stige til 100 %.

Ved komprimering af 6,5 m³ luft til 10 bar, ved en konstant temperatur, vil 181,108 g vand blive udskilt i form af kondensat.

5.2.5 Eksempel på beregning af kondensatmængde

Omgivende atmosfære

$p_1 = 1$ bar abs
 $T_1 = 33^\circ$ C
 $\phi_1 = 80$ %
 $f_{\max 1} = 35,317$ g/m³

$\dot{V}_1 = 2720$ m³/h

Kompressor

$p_2 = 11,5$ bar abs
 $T_2 = 40^\circ$ C
 $\phi_2 = 100$ %
 $f_{\max 2} = 50,672$ g/m³
 DR = Drifts m³

$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{V}_1}{P_2} = 236,5 \text{ DRm}^3/\text{h}$$

$\dot{V} = 236,5$ m³/h

Trykluft køletørrer

$p_3 = 11,5$ bar abs
 $T_3 = 3^\circ$ C
 $\phi_3 = 100$ %
 $f_{\max 3} = 5,953$ g/m³
 DR = Drifts m³

$\dot{V}_2 = 236,5$ DRm³/h

Eksemplet viser kondensatmængden q_c , som reelt afgives når luften komprimeres. Det må bemærkes, at kondensatet udskilles flere steder i trykluftanlægget på forskellige tidspunkter.

Opgaven i dette tilfælde er en beregning af den samlede kondensatmængde fra en skruekompressor med en ydelse på $\dot{V} = 2720$ m³/h og et sluttryk på $p_o = 10,5$ bar. Kompressoren er sluttet i serie med en trykluftbeholder og en trykluft køletørrer.

Under disse omstændigheder indeholder den omgivende luft en bestemt mængde vand.

$$q_w = \dot{V}_1 \times f_{\max 1} \times \phi_1 / 100$$

$$g/h = m^3/h \times g/m^3 \times \% / \%$$

$$q_w = 2720 \times 35,317 \times 80 / 100$$

$$q_w = 76849,79 \text{ g/h} \hat{=} 76,85 \text{ l/h}$$

Under **kompressionen** stiger temperaturen over trykdugpunktet, og der udskilles ikke kondensat. I kompressorens efterkøler, køles trykluft ned til $T_2 = 40^\circ$ C. Den første kondensering sker og medrives til trykluftbeholderen. Volumenstrømmen dæmpes og vanddråber udskilles. Der samler sig en betydelig mængde kondensat i beholderen.

$$q_{c1} = q_w - (\dot{V}_2 \times f_{\max 2} \times \phi_2 / 100)$$

$$q_{c1} = 76849,79 - (236,5 \times 50,672 \times 100 / 100)$$

$$q_{c1} = 64865,86 \text{ g/h} \hat{=} 64,87 \text{ l/h}$$

Efter dette nedkøles luften i **trykluft køletørreren** til en temperatur svarende til et trykdugpunkt på 3° C. Kondensatet samles i tørreren og ledes bort.

$$q_{c2} = (\dot{V}_2 \times f_{\max 2}) - (\dot{V}_2 \times F_{\max 3})$$

$$q_{c2} = (236,5 \times 50,672) - (236,5 \times 5,953)$$

$$q_{c2} = 10576,04 \text{ g/h} \hat{=} 10,58 \text{ l/h}$$

Fig. 5.5 : Kondensatudskilning ved trykluftbehandling med en trykluft køletørrer

Udover de enkelte kondensatstrømme, fremkommer en kondensatmængde, som skal behandles af kondensatbehandlingsudstyret.

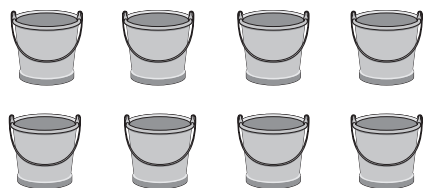


Fig. 5.6:
Ca. 8 · 10 l spande med kondensat pr. time

$$\text{Kondensatmængde } q_c = q_{c1} + q_{c2}$$

$$\text{Kondensatmængde } q_c = 75441,9 \text{ g/h} \\ = 75,4 \text{ l/h}$$

Ved tre-skiftsdrift med 100 % virkningsgrad, er kompressoren i drift 24-timer i døgnet **D**. Ved uændrede forudsætninger, betyder dette:

$$\text{Kondensatmængde } q_{cD} = 1810605,6 \text{ g/D} \\ = 1810,6 \text{ l/D}$$

Følgende kondensatmængde vil fremkomme pr. år:

$$\text{Kondensatmængde } q_{cY} = 659060438 \text{ g/Å} \\ = 659060 \text{ l/Å}$$

5.2.6 Kondensatmængde på en fugtig sommerdag

Trykluftens kvalitet skal altid være den samme, **hvis de stedlige driftsforhold ikke er ændret**. D.v.s. at trykluftens tryk-dugpunkt skal forblive på 3°C, selv på en varm sommerdag med en lufttemperatur på 40° C og 90 % luftfugtighed.

$$\text{FAL } \dot{V}_1 = 2720 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Tilgangstryk } p_1 = 1 \text{ bar abs}$$

$$\text{Tilgangstemperatur } T_1 = 40^\circ \text{ C}$$

$$\text{Relativ luftfugtighed } j_1 = 90 \%$$

$$\text{Trykdugpunkt } T_3 = 2^\circ \text{ C}$$

Under disse forhold ved konstant trykluftkvalitet, udskilles en væsentlig større mængde kondensat.

$$\text{Kondensatmængde } q_c = 122,6 \text{ l/h}$$

Ved tre-skifts 100% drift arbejder kompressoren 24 timer i døgnet. Det giver ved uforandrede driftsforhold en:

$$\text{Kondensatmængde } q_{cD} = 2943,3 \text{ l/D}$$

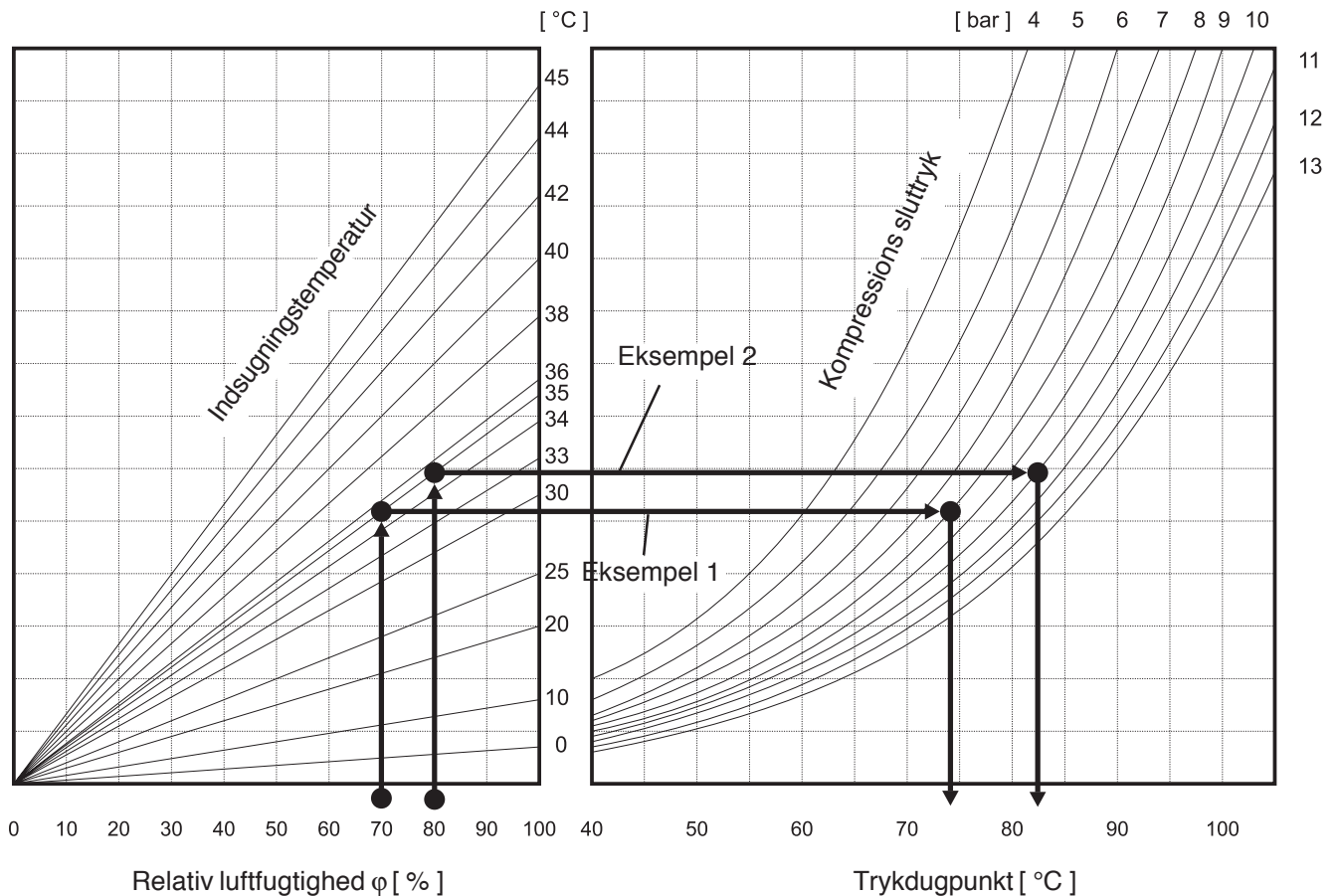
På et år vil der derfor fremkomme en:

$$\text{Kondensatmængde på } q_{cY} = 1071358 \text{ l/Å}$$

5.2.7 Fastlæggelse af trykdugpunktet

Trykdugpunktet angiver temperaturen som **trykluften** kan nedkøles til, uden at der udskilles kondensat. Trykdugpunktet afhænger af sluttrykket. Hvis dette falder, sænkes også trykdugpunktet.

Nedenstående diagrammer viser trykluftens trykdugpunkt efter kompressionen



Eksempel 1

Indsugningsluft

- Relativ luftfugtighed $\phi = 70\%$
- Luft temperatur $T = 35\text{ °C}$

Trykluft

- Sluttryk $p_o = 8\text{ bar}$

⇒ Trykdugpunktet er ca. **73°C**

Eksempel 2

Indsugningsluft

- Relativ luftfugtighed $\phi = 80\%$
- Luft temperatur $T = 35\text{ °C}$

Trykluft

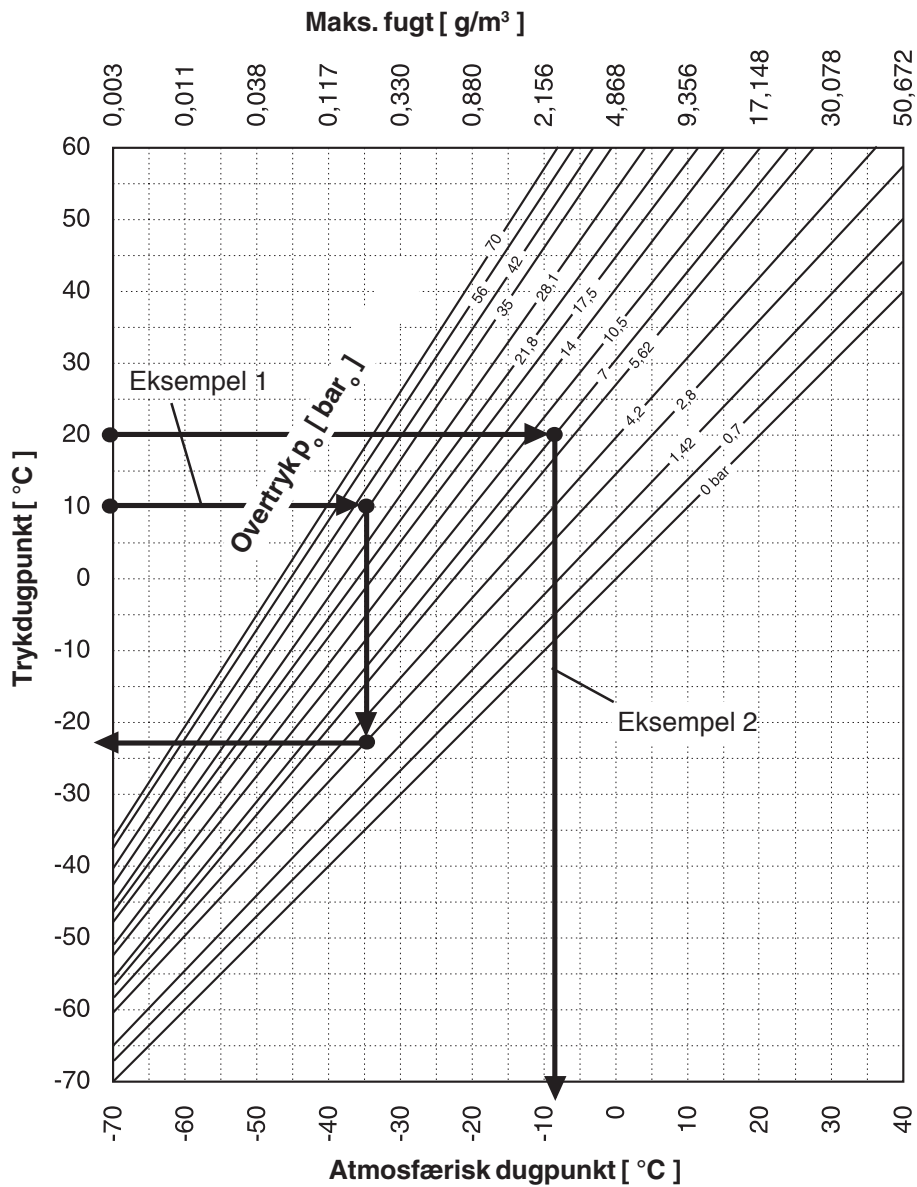
- Sluttryk $p_o = 10\text{ bar}$

⇒ Trykdugpunktet er ca. **82°C**

Trykluft efterbehandling

5.2.8 Trykdugpunktet efter ekspansion

Når trykluft ekspanderer falder trykdugpunktet. For fastlæggelse af det nye trykdugpunkt, hhv. det atmosfæriske dugpunkt anvendes nedenstående diagram:



Eksempel 1

Trykluft

- $p_o = 35$ bar lufttryk
- Trykdugpunkt 10° C

Ekspanderet trykluft

- $p_o = 2,8$ bar lufttryk

⇒ Det nye trykdugpunkt er ca. -23° C

Eksempel 2

Trykluft

- $p_o = 7$ bar lufttryk
- Trykdugpunkt 20° C

Ekspanderet trykluft

- Atmosfærisk tryk $p_o = 0$ bar

⇒ Det atmosfæriske trykdugpunkt er ca. -8° C

5.3 Trykluftkvalitet

5.3.1 Kvalitetsklasser i h.t. DIN ISO 8573-1

Trykluftkvaliteten opdeles i klasser efter DIN ISO 8573-1. Denne opdeling gør det lettere for brugeren at definere sine krav og valget af de nødvendige efterbehandlings komponenter. Denne standard er baseret på oplysninger fra producenter, der har angivet gældende grænseværdier for trykluftens renhed i forbindelse med deres anlæg og maskiner.

DIN ISO 8573-1 standarden definerer kvalitetklasser for trykluft, på grundlag af:

Olieindholdet

Fastlæggelse af restmængden af aerosoler og kulbrinters tilstedeværelse i tryklufften.

Partikelstørrelse og massefylde

Fastlæggelse af koncentration af faste partikler, der endnu må være tilstede i tryklufften.

Trykdugpunktet

Fastlæggelse af temperaturen, som man kan nedkøle **trykluft** til, uden at den indeholdte vanddamp i tryklufften kondenseres. Trykdugpunktet ændrer sig sammen med luftrykket.

Klasse	Maks. Olieindhold [mg/m ³]	Maks. Reststøvindhold		Maks. Restvandindhold	
		Partikel dim. [μm]	Partikel Massef. [mg/m ³]	Restvand [g/m ³]	Trykdugpunkt [°C]
1	0,01	0,1	0,1	0,003	-70
2	0,1	1	1	0,117	-40
3	1	5	5	0,88	-20
4	5	15	8	5,953	+3
5	25	40	10	7,732	+7
6	—	—	—	9,356	+10

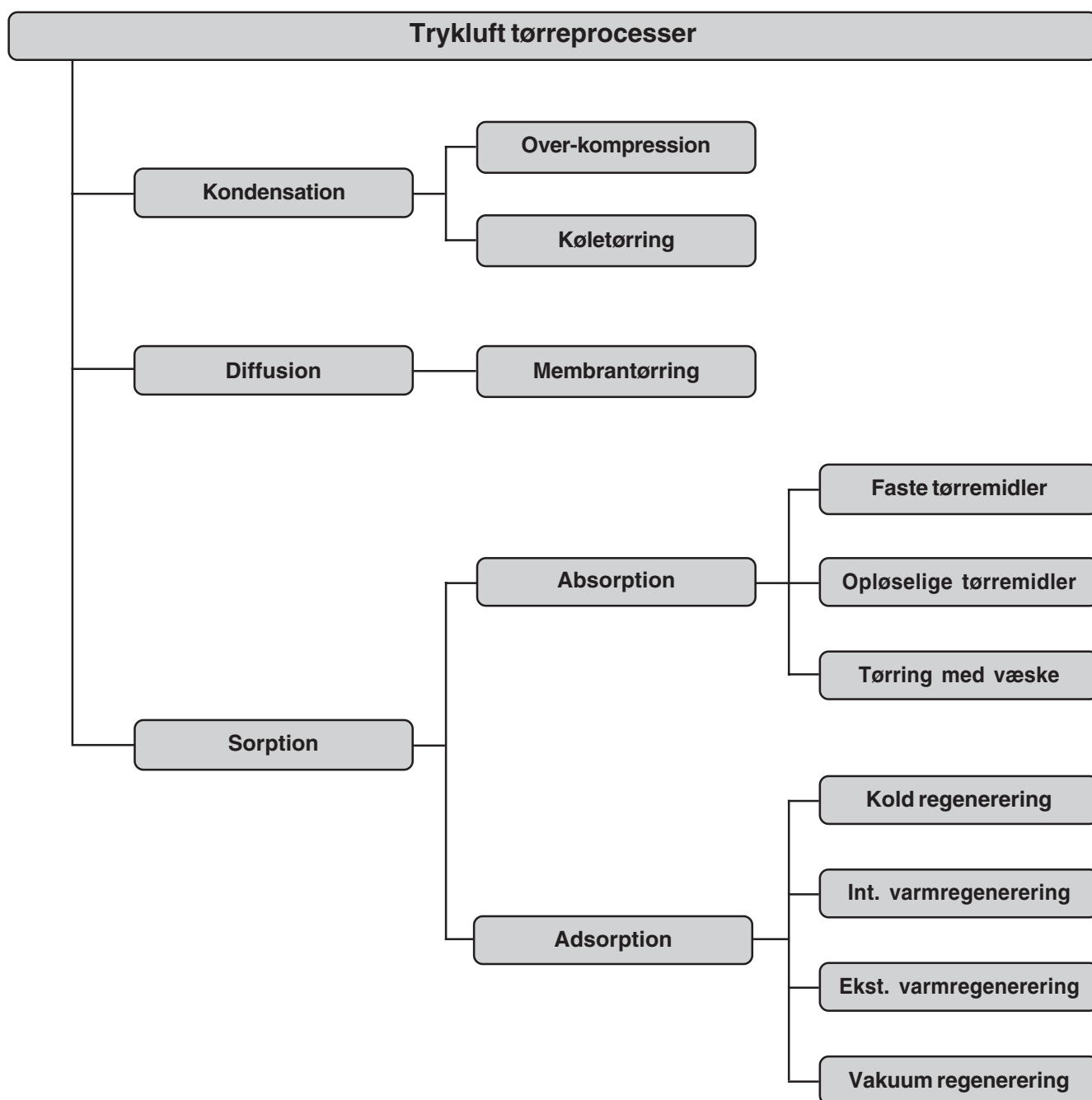
5.4 Tørringsmetoder

I oversigten findes tørremetoderne for trykluft opdelt efter deres driftsprincipper. Grundlæggende skelnes der mellem kondensering, sorption og diffusion.

Kondensation er udskillelsen af vand under dugpunktstemperaturen.

Sorption er tørring ved fjernelse af fugt.

Diffusion er tørring ved hjælp af molekyle-overførsel.



5.4.1 Driftsforhold

Gennemstrømningsydelsen af en tryklufttørrer, er sugetilstanden af luften ved kompressionen i en kompressor i h.t. PN2 CPTC2, ISO 1217 (DIN 1945 Afsnit 1).

- Sugetryk $p = 0 \text{ bar}_o \triangleq 1 \text{ bar}_{abs}$
- Indsugningstemperatur $T_o = 293 \text{ K} \triangleq 20^\circ \text{ C}$

Tryklufttørrere opfylder DIN ISO 7183 normen for bestemte driftsforhold. De for tørreren angivne ydelsesdata gælder kun under disse forhold:

- Driftstryk $p = 7 \text{ bar}_o \triangleq 8 \text{ bar}_{abs}$
- Omgivendetemperatur $t_A = 298 \text{ K} \triangleq 25^\circ \text{ C}$
- Tilgangstemperatur $t_{En} = 308 \text{ K} \triangleq 35^\circ \text{ C}$

Hvis tørreren arbejder under andre driftsforhold, må der tages hensyn til tilsvarende omregningsfaktorer. Disse faktorer er forskellige for de forskellige tørreprocesser.

Eksempel på dimensionering af en trykluft køletørrer

Omregningsfaktorer for driftsforhold og omgivende temperatur:

Driftsstryk p [bar _o]	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16
Faktor fa	0,62	0,72	0,81	0,89	0,94	1	1,04	1,06	1,09	1,1	1,12	1,15	1,17

Omgivende temperatur t _A [°C]	25	30	35	40	43
Factor t	1,00	0,92	0,85	0,79	0,75

En trykluft køletørrer har f.eks. en gennem-strømningsydelse Y på 45 m³/h. Den arbejder ved en gennemsnitlig omgivende temperatur t_A = 40° C og et driftstryk på p = 10 bar_o.

$$Y = 45 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$p = 10 \text{ bar}_o \quad \Rightarrow \quad f = 1,09$$

$$t_A = 40^\circ \text{ C} \quad \Rightarrow \quad t = 0,79$$

$$\begin{aligned}
 Y_{Ad} &= Y \times fa \times t \\
 Y_{Ad} &= 45 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,09 \times 0,79 \\
 Y_{Ad} &= 38,75 \text{ m}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$

$$Y_{Ad} = \text{Justeret gennemstrømning} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$$Y = \text{Gennemstrømning} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$$fa = \text{Omregningsfaktor for } p = 10 \text{ bar}_o$$

$$t = \text{Omregningsfaktor for } t_A = 40^\circ \text{ C}$$

Ved forandrede driftsforhold har tørreren en gennemstrømning på 38,75 m³/h.

Trykluft efterbehandling

5.4.2 Kondensation ved overtryk

Trykdugpunkt [° C]	Driftstryk [bar _o]	Volumenstrøm [m ³ /h]	Tilgangstemperatur [° C]
ca. -70° C	Afhænger af kompressor	Afhænger af kompressor	–

Ved overtryk komprimeres luften langt højere end det nødvendige driftstryk. Luften afkøles derefter og ekspanderes til det ønskede driftstryk.

Funktionsprincip

Ved stigende tryk og dermed formindsket volumen, kan luften indeholde stadig mindre vand. Ved forkompressionen til et højere tryk udskilles en stor del af vandet. Den absolutte luftfugtighed sænkes. Bliver luften derefter ekspanderet sænkes, den relative luftfugtighed og hermed trykdugpunktet.

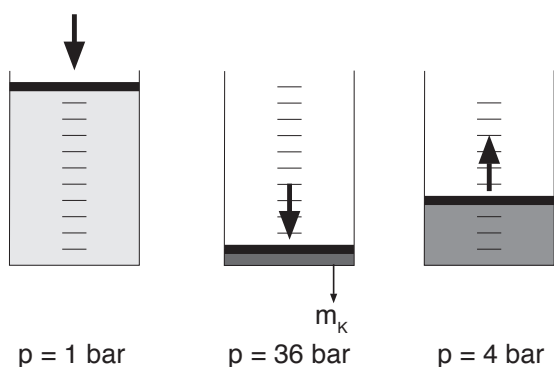


Fig. 5.7 :
Overtryk med påfølgende ekspansion

Eksempel:

Trykluft forkomprimeres til 36 bar, derved bliver trykdugpunktet 10° C. Kondensatet udskilles. Efter ekspansion til 4 bar får tryklufften et nyt trykdugpunkt på ca. - 23° C. (Se side 76, kapitel 5.2.7 Eksempel 1)

Egenskaber

- Simpel proces med kontinuerlig volumenstrøm.
- Ingen kostbare køle- og tørringsanlæg.
- Kun økonomisk for mindre ydelser.
- Meget stort effektbehov.

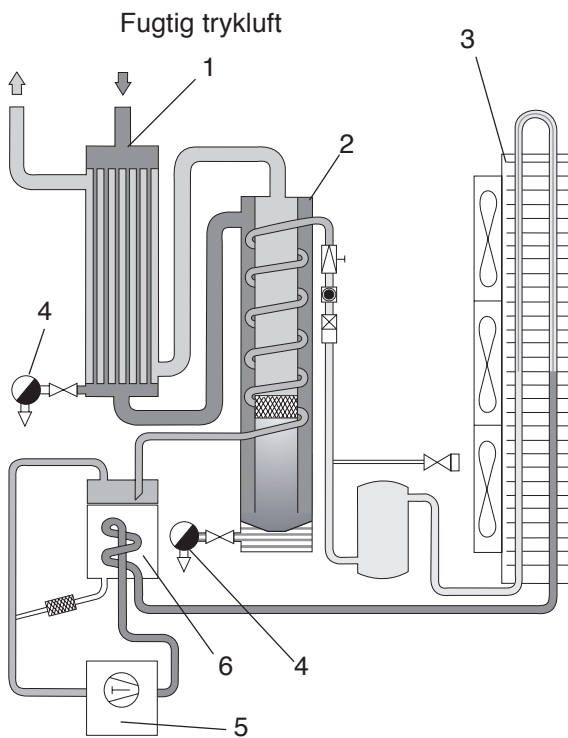
5.4.3 Kondensation ved køletørring

Trykdugpunkt [°C]	Driftstryk [bar ₀]	Volumenstrøm [m ³ /h]	Tilgangstemperatur [°C]
til -2 °C	til 210	11-35000	til +50 °C

Ved faldende temperatur mister luften sin evne til at indeholde vand. Til formindskelse af luftens fugtindhold, kan tryklufften nedkøles i en køletørrer.

Køletørring er en fremgangsmåde, hvor tryklufften ved hjælp af et kølemedie nedkøles i en varmeveksler. Den i luften indeholdte fugtighed udskilles i form af kondensat. Den udskilte kondensatmængde stiger, sammen med differensstemperaturen mellem tryklufftens til- og afgangstemperatur.

Tør trykluft



- 1 = Luft/Luft varmeveksler
- 2 = Luft/Kølemedie varmeveksler
- 3 = Kølemedie/Luft varmeveksler
- 4 = Kondensatdræn
- 5 = Kølekompressor
- 6 = Em-afgang

Fig. 5.8 :
Driftsdiagram for en trykluft køletørrer

Funktionsprincip

Køletørring forløber i to faser. Årsagen hertil skyldes en forbedring af virkningsgraden og for opnåelse af den maksimale nyttevirkning af den tilførte kulde.

1. Fase

I en luft/luft varmeveksler køler den allerede gennem køletørreren passerede trykluft den ny tilkommende luftstrøm. Derved udskilles 70 % af luftfugtigheden som kondensat.

2. Fase

Tryklufften strømmer gennem en kølemedie/luft varmeveksler og køles næsten ned til frysepunktet. Det udskilte kondensat bortledes før genopvarmning finder sted i den første kølefase.

Egenskaber:

- Særlig økonomisk.
Køletørring er den mest økonomiske fremgangsmåde til ca. 90 % af alle anvendelsesformål.
- Udskillelse af urenheder.
Næsten 100 % af alle faste partikler og vanddråber større end 3 μm udskilles.
- Lavere tryktab i tørreren.
Tryktabet Δp ligger på ca. 0,2 bar.

Trykluft efterbehandling

5.4.4 Diffusion ved membrantørring

Trykdugpunkt [° C]	Driftstryk [bar _o]	Volumenstrøm [m ³ /h]	Tilgangstemperatur [° C]
0 til -20 °C	5 - 12,5	11 - 130	2° til 60°C

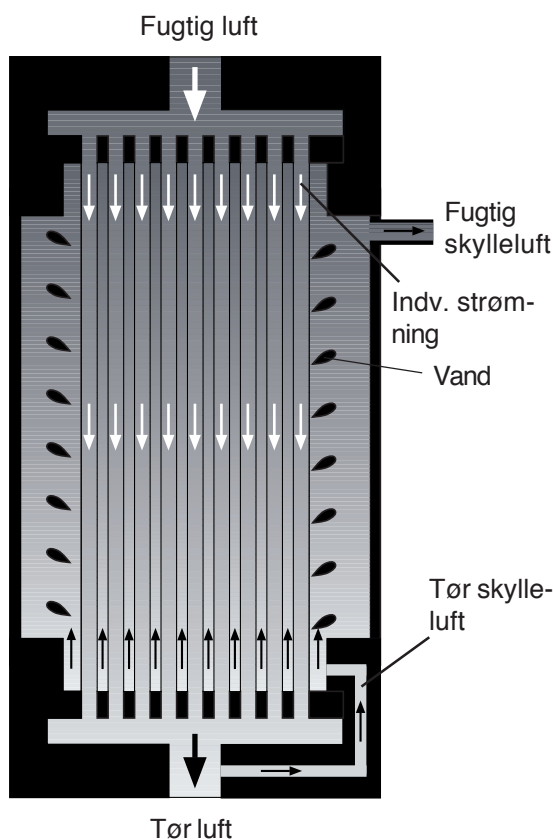


Fig. 5.9 :
Principdiagram af en membrantørrer

Princippet i membrantørreren beror på det faktum, at vand gennemstrømmer et specielt overfladebehandlet hulfiber-materiale 20 000 gange hurtigere end luft.

Membrantørreren består af tusinder af specielt behandlede hulfiber-membraner. Disse hul fibre er fremstillet af et fast, temperatur- og trykbestandigt plastmateriale. De indre overflader er belagt med et ultra-tyndt andet plastmateriale (mindre end længden af en lysbølge). De hule fibre (membraner) er anbragt i et rør, hvor den indre kanal er åben i enderne.

Funktionsprincip

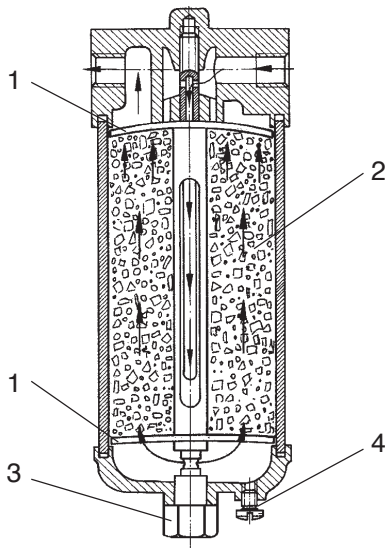
Den fugtige trykluft strømmer igennem det indre af fibre (Indvendig strøm). Vanddampindholdet i tryklufften trænger derved gennem belægningslaget af hulfiberet ud til ydersiden. For at få vanddampen til at flytte sig fra indersiden til ydersiden af hul fibre er det nødvendigt med en forskel i vanddampens koncentration. Fra kompressorens tørrede hovedvolumenstrøm afgrænses en skylleluftstrøm der ekspanderes. Da den maksimale luftfugtighed afhænger af volumenet, falder den relative luftfugtighed, og skylleluften bliver meget tør. Den tørre skylleluft omslutter hul fibre og sørger for det nødvendige fald i vanddampens koncentration. Skylleluften kan bortledes ufiltreret til det fri.

Egenskaber

- Lavt partikelindhold i luften.
Der skal altid indskydes et filter foran membrantørreren, så partikler op til en størrelse af 0.01 μm filtreres fra. Hvis filteret placeres direkte efter kompressoren, skal der indskydes en støvudskiller foran filteret.
- Lavt tryktab i tørreren.
Trykfaldet Δp for tørreren ligger på maks. 0.2 bar.
- Kompakt opbygning.
Tørreren kan installeres som en rørkomponent.
- Ingen vedligeholdelse.
Der er ingen bevægelige dele i tørreren.
- Ingen kondensatudskelelse under tørringen.
- Ingen ekstra energiomkostninger.
- Støjfri.
- Ingen fluorkulstoffer.
- Ingen bevægelige dele.
- Ingen motor.

5.4.5 Udskilning ved absorption

Trykdugpunkt [°C]	Driftstryk [bar _o]	Volumenstrøm [m ³ /h]	Tilgangstemperatur [°C]
Afhænger af tilgangstemperatur	–	–	op til 30 °C



- 1 = Skærm
- 2 = Faststof tørremiddel
- 3 = Slutmuffe
- 4 = Kondensatdræn

Fig. 5.10 :
Absorptionstørrer med faststof tørremiddel

Ved absorptionstørring udskilles fugten ved hjælp af en kemisk reaktion med et hygroskopisk tørremiddel. Da tørremidlets absorptionsevne nedsættes over tiden, er en periodisk fornyelse nødvendig.

Der findes 3 forskellige tørremiddeltyper. De opløselige tørremidler bliver flydende ved tiltagende absorption. De faste og flydende midler reagerer med vanddampen, uden at ændre deres stofflige tilstand.

Fast	Tørremiddel	
	Opløselig	Flydende
Dehydreret kalk	Lithium chlorid	Svovlsyre
Oversurt magnesium salt	Calciumchlorid	Fosforsyre
		Glycerin
		Triethylenglykol

Funktionsprincip

Under absorptionen strømmer trykluft opad gennem tørremiddelfyldningen. Herunder afgives en del af vanddampen til tørremidlet. Et dræn bortleder kondensatet til en bundbeholder. Trykdugpunktet nedsættes ca. 8 -12 %..

Eksempel

Trykluft med en temperatur på +30 °C føres ind i en tørrer fyldt med calciumchlorid. Trykdugpunktet der opnås her ligger mellem 18 og 22 °C.

Egenskaber

- Lav tilgangstemperatur.
Høje temperaturer blødgør tørremidlet og bager det sammen.
- Meget korrosive tørremidler.
Den tørrede luft kan medrive tørringsmidlet til det pneumatiske system. Dette kan føre til alvorlige skader.
- Ingen tilførsel af udefra kommende energi.

På grund af disse egenskaber, har absorptionstørring kun fundet vej til et fåtal af anvendelsesområder i den pneumatiske teknik. Et eksempel herpå er trykluft efterbehandlingen i laboratorier.

Trykluft efterbehandling

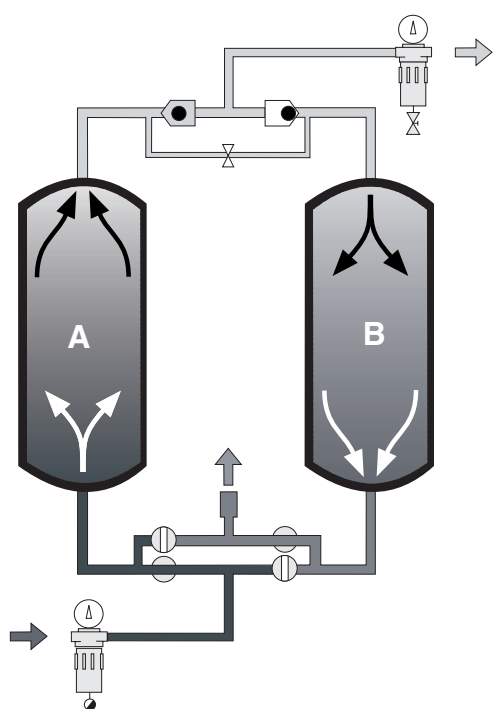
5.4.6 Udskilning ved adsorption

Tørring af trykluft ved adsorption er en rent fysisk proces. Fugten bindes til tørremidlet ved hjælp af vedhægningskraften af adhæsionen (Ubalanceret molekylær tiltrækning). Derfor forbliver fugten på de indre og ydre overflader af tørremidlet, uden at der sker en kemisk reaktion.

Tørremidlet har en åben porestruktur og en stor indre overflade. De hyppigst anvendte adsorptionsmidler er aluminiumoxid, silikagel, aktivt kul og molekylære sigter. For de alternative fremgangsmåder ved regenereringen anvendes forskellige adsorptionsmidler.

Adsorptionsmidler	Egenskaber ved adsorptionsmidler *)			
	Opnåeligt trykdugpunkt [° C]	Tilgangs-temperatur [° C]	Regenerations temperatur [° C]	Overflade [m ² /g]
Silikagel (SiO ₂), rå	- 50	+ 50	120 - 180	500 - 800
Silikagel (SiO ₂), kugleformet	-50	+ 50	120 - 180	200 - 300
Aktiveret aluminiumoxid (Al ₂ O ₃)	- 60	+ 40	175 - 315	230 - 380
Molekylære sigter (Na, AlO ₂ , SiO ₂)	- 90	+ 140	200 - 350	750 - 800

*) Adsorptionsmidlernes egenskaber ændrer sig med trykket og temperaturen af den til tørring indstrømmende gas.



Funktionsprincip

Under tørreprocessen strømmer den fugtige trykluft gennem beholderen med tørremidlet. Fugten bindes til tørremidlet så tryklufften tørrer. Denne proces frembringer varme. Når adsorptionskræfterne er udlignet af det optagne vand, skal adsorptionsmidlet regenereres. D.v.s. at vandet skal fjernes fra adsorptionsmidlet. Af denne årsag er det nødvendigt ved kontinuerlig drift, at anvende to parallelt koblede tørrebeholdere. Den i drift værende beholder **A** tørrer tryklufften, medens den fra driften koblede beholder **B**, regenereres.

Til regenereringen af adsorptionsmidlet anvendes i det væsentlige følgende fremgangsmåder:

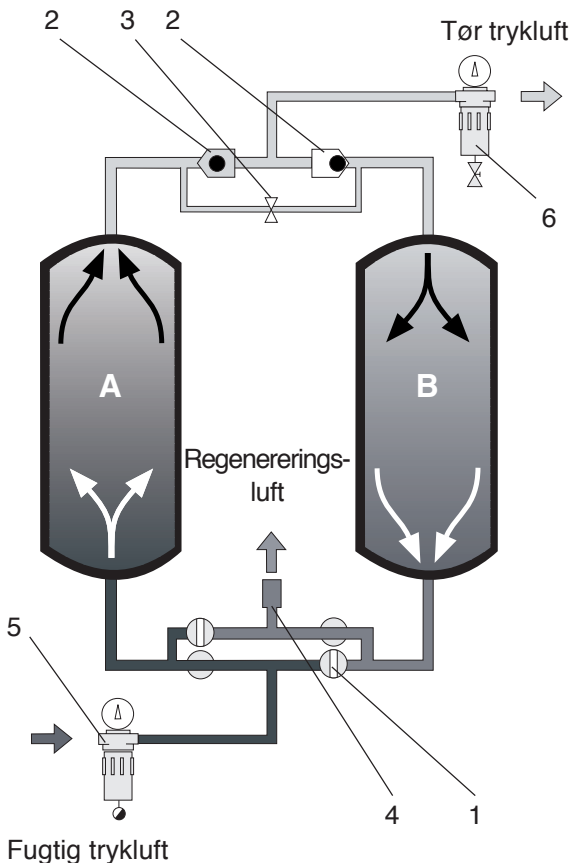
- Kold regenerering
- Intern varm regenerering
- Ekstern varm regenerering
- Vakuum regenerering

5.4.6.1 Kold regenerering

Tryk-dugpunkt [° C]	Drifts-tryk [bar _o]	Volumen-strøm [m ³ /h]	Tilgangs-temperatur [° C]
til - 70° C	4 - 16	4 - 5600	til + 60° C



Fig. 5.11 :
Adsorptionsmiddel efter 5 min. tørretid



- 1 = Ventil
- 2 = Kontraventil
- 3 = Hulblænde
- 4 = Afgangsventil
- 5 = Forfilter
- 6 = Efterfilter

Fig. 5.12 :
Driftsdiagram for en adsorptionstørrer,
med kold regenerering

Ved kold regenerering er tørre- og regenereringstiden omkring 5 min. Af denne årsag aflejres fugten kun på den ydre overflade af tørremidlet.

Koldt regenererende adsorptionstørrere drives efter trykvekselprincippet. Ved denne metode sker desorptionen (Regenereringen) uden supplerende varmetilførsel. En del af den tørrede volumenstrøm afgrenes. Den afgrenede delstrøm ekspanderer til et tryk lige over 1 bar og er derfor overordentligt tør. Denne tørre luft strømmer derefter gennem den under regenerering værende beholder **B**. Den i tørremidlet lagrede fugt optages og føres gennem en afgangsventil til det fri.

Egenskaber

- Økonomisk ved mindre anlæg med små volumenstrømme.
- Simple tørrerkonstruktion.
- Kan anvendes ved høje omgivende temperaturer.
- Lille tørremiddelvolumen. Tørre- og regenereringstid ca. 5 min.
- Høje driftsomkostninger. Regenereringsluften tages fra trykluftsystemet og kan ikke anvendes til andre formål.
- Regenerering uden tilført fremmed energi.
- Det procentvise forhold for regenereringsluften til ydelsen af kompressoren, falder ved højere kompressions sluttryk.

Slut-tryk [bar _{abs}]	Forhold til regenereringsluft [%]	
	Trykdugpunkt -25° to -40° C	Trykdugpunkt -40° to -100° C
5	25,83	27,14
7	17,22	18,1
10	11,49	12,07
15	7,39	7,77
20	5,46	5,47

Disse værdier er fysisk faste og kan ikke reduceres. De er angivet ud fra sammenhængen mellem luftfugtighed og tryklufteksponation.

- Forfiltrering af tilgangsluften. Et forfilter renser trykluftten for de fleste olierester, vanddråber og snavspartikler.
- Efterfiltrering af den tørrede trykluft. Tørremiddel medrevet af trykluftten fra tørrebeholderen, skal filtreres fra.

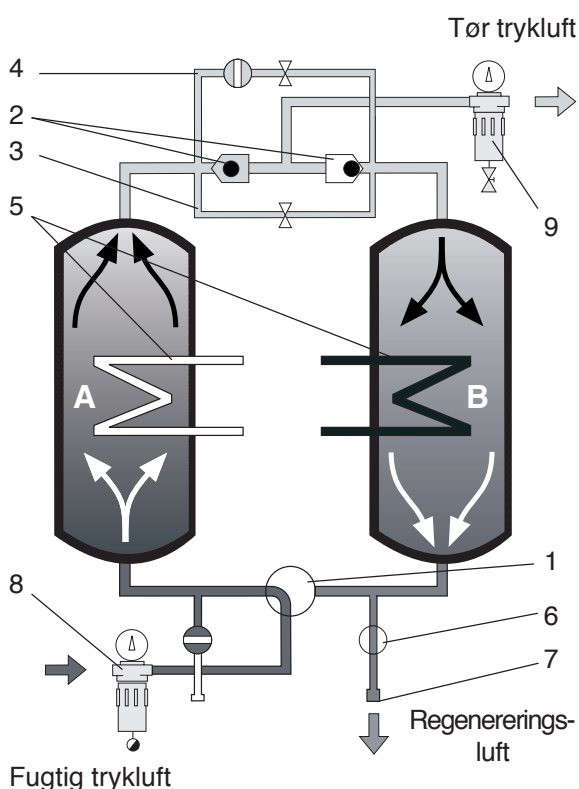
Trykluft efterbehandling

5.4.6.2 Intern varm regenerering

Trykdugpunkt [°C]	Driftstryk [bar _o]	Volumenstrøm [m ³ /h]	Tilgangstemperatur [°C]
til -40° C	2 - 16	200 - 5000	til +50° C



Fig. 5.13 :
Adsorptionsmiddel efter 6 - 8 timer tørretid



- 1 = Ventilblok
- 2 = Kontraventil
- 3 = Omløb med hulblænde 1. Fase
- 4 = Omløb med hulblænde 2. Fase
- 5 = Opvarmingskilde
- 6 = Afspærringsventil
- 7 = Afgangsventil
- 8 = Forfilter
- 9 = Efterfilter

Fig. 5.14 :
Driftsdiagram for en adsorptionstørrer,
med intern varm regenerering

Ved varm regenerering ligger tørre- og regenereringstiden omkring 6 - 8 timer. Under den lange tørretid aflejres fugten på de indre og ydre overflader af tørremidlet. Til denne proces skal der tilføres varme udefra. Ved overskridelse af tørremidlets regenererings- temperatur med varme, overvinder de optrædende overfladeenergier tørremidlets adhæsionsevner og vandet fordamper. En mindre mængde regenereringsluft bortfører fugten.

Regenererings temperaturen afhænger af regenereringsluftens trykdugpunkt. Desto lavere dugpunktet er, desto lavere er tørrerens regenererings-temperatur.

Ved **intern regenerering** overføres varmen direkte fra en varmekilde i tørrebeholderen til adsorptionsmidlet. Dette sker i to faser:

1. Fase

Tørrebeholder **B** opvarmes langsomt af den indbyggede varmekilde til den nødvendige regenererings-temperatur. Når regenererings-temperaturen er overskredet, løsner fugten sig selv fra adsorptionsmidlet. Ca. 2 - 3 % af den tørrede trykluftstrøm fra kompressoren ekspanderes og ledes under lavt tryk gennem tørrebeholder **B**. Regenereringsluftstrømmen optager vand-dampen og fører den gennem en afgangsventil til det fri.

2. Fase

Under en afkølingsfase reduceres driftstemperaturen igen til temperaturen i tørremiddelfyldningen. Et andet omløb åbnes til dette formål. Ca. 5 % af kompressorens FAL ledes til tørrebeholder **B**. På dette tidspunkt er den interne opvarmning ophørt.

Egenskaber

- Økonomisk ved høje volumenstrømme.
- Simpel tørrerkonstruktion.
- Meget begrænset forbrug af tørret trykluft ved regenerering af tørreren.
- Forfiltrering af tilgangsluften
Et forfilter renser tryklufften for de fleste olierester, vanddråber og snavspartikler.
- Efterfiltrering af den tørrede trykluft.
Tørremiddel medrevet af tryklufften fra tørrebeholderen, skal filtreres fra.

5.4.6.3 Ekstern varm regenerering

Tryk- dugpunkt [° C]	Drifts- tryk [bar _{op}]	Volumen- strøm [m ³ /h]	Tilgangs- temperatur [° C]
til - 40° C	2 - 16	500 - 15000	til + 50° C

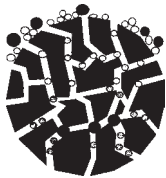
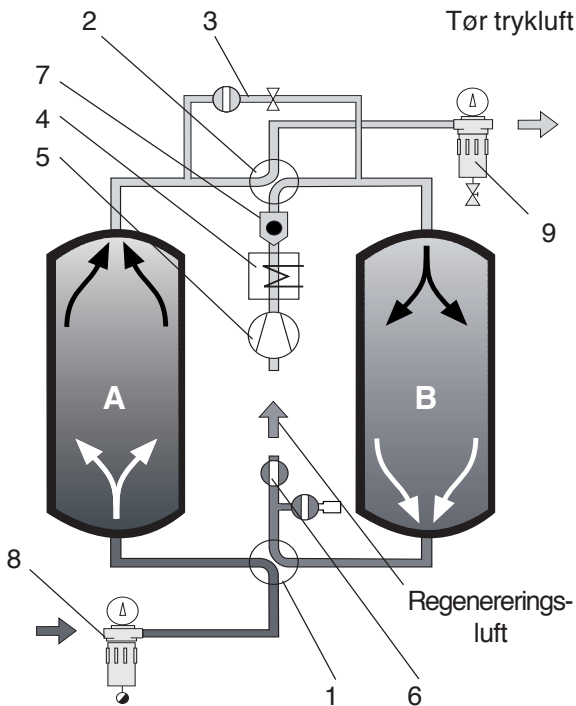


Fig. 5.15 :
Adsorptionsmiddel efter 6 - 8 timers tørretid



Fugtig trykluft

- 1 = Nedre ventilblok
- 2 = Øvre ventilblok
- 3 = Omløb med hulblænde **3. Fase**
- 4 = Opvarmningsaggregat
- 5 = Ventilator
- 6 = Afspæringsventil
- 7 = Kontraventil
- 8 = Forfilter
- 9 = Efterfilter

Fig. 5.16 :
Driftsdiagram for en adsorptionstørrer,
med ekstern varm regenerering

Ved varm regenerering ligger tørre- og regenereringstiden på omkring 6 - 8 timer. Under den lange tørretid aflejres fugten på de indre og ydre overflader af tørremidlet. Til denne proces skal der tilføres varme udefra. Ved overskridelse af tørremidlets regenererings-temperatur ved varmetilførsel, overvinder de optrædende overfladeenergier tørremidlets ad-hæsionsevner og vandet fordamper. En mindre mængde regenereringsluft bortleder fugten.

Regenererings-temperaturen afhænger af regenereringsluftens trykdugpunkt. Desto lavere dugpunktet er, desto lavere er tørrerens regenererings-temperatur.

Ved **ekstern regenerering** suges den omgivende luft ind med en ventilator. Luften opvarmes af et opvarmningsaggregat. Dette sker i tre faser:

1. Fase

Tørrebeholder **B** opvarmes langsomt af den varme luftstrøm til den nødvendige regenererings-temperatur. Når regenererings-temperaturen er nået, løsner vandet sig selv fra adsorptionsmidlet. Ventilatoren fortsætter med at varme regenereringsluften gennem tørrebeholder **B**. Denne regenererings-luftstrøm optager vanddampen og leder den gennem en afgangsventil til det fri.

2. Fase

Under en afkølingsfase sænkes driftstemperaturen til temperaturen i tørrebeholder **B**. For at opnå dette slukkes opvarmningsaggregatet og kold omgivelsesluft ledes gennem tørrebeholderen.

3. Fase

Ved afslutning af kølingen ledes tør, ekspanderet trykluft fra kompressoren gennem tørrebeholderen, så den omgivende luft ikke belaster tørreren med fugt.

Egenskaber

- Økonomisk ved høje volumenstrømme.
- Højere regenererings-temperaturer gør det muligt at opnå lavere trykdugpunkt.
- Lavt supplerende tryklufforbrug.
Der tages kun en minimal del af regenereringsluften fra trykluffsystemet.
- Forfiltrering af tilgangsluften.
Et forfilter rensr tryklufften for de fleste olierester, vanddråber og snavspartikler.
- Efterfiltrering af den tørrede trykluff.
Tørremiddel medrevet af tryklufften fra tørrebeholderen, skal filtreres fra.

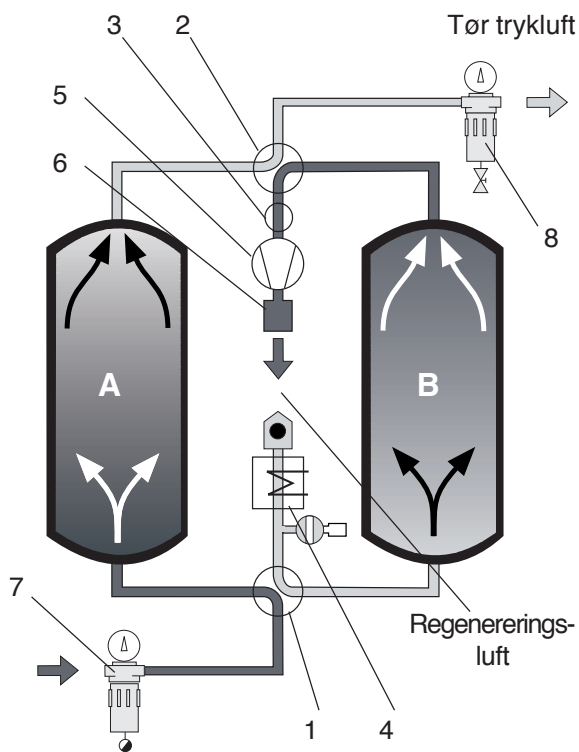
Trykluft efterbehandling

5.4.6.4 Vakuum regenerering

Tryk-dugpunkt [° C]	Drifts-tryk [bar _{op}]	Volumen-strøm [m ³ /h]	Tilgangs-temperatur [° C]
til - 80° C	4 - 16 bar	400 - 7400	til + 40° C



Fig. 5.17 :
Adsorptionsmiddel efter 6 - 8 timer tørretid



Fugtig trykluft

- 1 = Nedre ventilblok
- 2 = Øvre ventilblok
- 3 = Kontraventil
- 4 = Opvarmningsaggregat
- 5 = Ventilator
- 6 = Lyddæmper
- 7 = Forfilter
- 8 = Efterfilter

Fig. 5.18 :
Driftsdiagram for en adsorptionstørrer,
med vakuum regenerering

Vakuum-regenereringen er en variant af den eksterne varme regenerering. Som ved varm regenerering ligger tørre- og regenereringstiderne på omkring 6 - 8 timer. Under den lange tørringstid aflejres fugten på de indre og ydre overflader af tørremidlet. Til denne proces skal der tilføres varme udefra. Ved overskridelse af tørremidlets regenererings- temperatur med varmetilførsel, overvinder de optrædende over-fladeenergier tørremidlets adhæsionsevner og vandet for-damper. En regenereringsluftstrøm bortleder fugten.

Regenererings-temperaturen afhænger af regenereringsluftens trykdugpunkt. Desto lavere dugpunktet er, desto lavere er tørrerens regenererings-temperatur.

Ved **vakuum-regenerering** suges atmosfærisk luft med et partielt vakuum ind i tørrebeholderen. Denne luftstrøm opvarmes eksternt. Vakuum regenerering sker i to faser.

1. Fase

En vakuumpumpe indsuger omgivende luft. Denne luftstrøm opvarmes af et varmeaggregat og suges gennem tørrebeholderen. Så snart regenererings-temperaturen er nået, løsner vandet sig selv fra adsorptionsmidlet. Regenereringsluftstrømmen optager vanddampen. Herefter føres den gennem en afgangsventil til det fri.

2. Fase

I kølefasen falder temperaturen til tørrebeholderens temperatur. Til dette formål slukkes opvarmningsaggregatet og kold omgivelsesluft ledes gennem tørrebeholderen.

Egenskaber

- **Økonomisk ved høje volumenstrømme.**
- Intet supplerende trykluftbehov.
Der anvendes ikke trykluft til regenereringen.
- Lang tørremiddel levetid.
Den termiske belastning af tørremidlet er lav.
- Energibesparende på grund af lav regenereringstemperatur.
- Forfiltrering af tilgangsluften
Et forfilter rensar trykluften for de fleste olierester, vanddråber og snavspartikler.
- Efterfiltreringen af den tørrede trykluft.
Tørremiddel medrevet af trykluften fra tørrebeholderen skal filtreres fra.

5.4.7 Placering af trykluft køletørrer

For placering af en trykluft køletørrer i et trykluftanlæg, findes to grundlæggende muligheder. Den kan enten installeres **før** eller **efter** trykluftbeholderen. Der kan ikke gives nogen generel regel herfor, da der er fordele og ulemper i begge tilfælde.

5.4.7.1 Køletørrer før trykluftbeholder

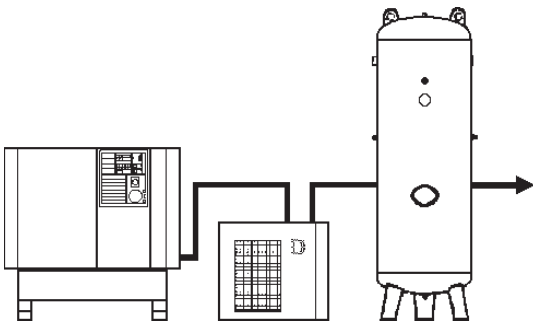


Fig. 5.19 :
Køletørrer placeret før trykluftbeholder

Fordele:

- Tørret luft i trykluftbeholderen.
Ingen udskillelse af kondensat i trykluftbeholderen.
- Konstant trykluft kvalitet.
Selv ved pludseligt, højt trykluftforbrug vil trykdugpunktet forblive uændret.

Ulemper:

- Stort dimensioneret tørrer.
Tørreren skal dimensioneres efter den fulde effektive ydelse af den foranstående kompressor. Ved lavt forbrug er tørreren i reglen overdimensioneret.
- Tørring af pulserende trykluft.
På grund af konstruktionsmåden, leverer stempelkompressorer en pulserende luftstrøm. Det belaster tørreren hårdt.
- Trykluftens høje tilgangstemperatur.
Tryklften kommer direkte fra kompressorens efterkøler.
- Tørring af en delluftstrøm er ikke mulig.
- Store kondensatmængder.
Hele kondensatmængden udskilles i tørreren.
- Ved trykluftanlæg med flere kompressorer, kræver hver kompressor en efterkoblet tørrer.

Konklusion

Installation af en tørrer foran trykluftbeholderen kan sjældent anbefales. Imidlertid er der fornuft i et sådant arrangement, hvis det anses, at der kan forekomme pludselige spidslastbehov og trykluftkvaliteten ikke må lide derunder.

5.4.7.2 Køletørrer efter trykluftbeholder

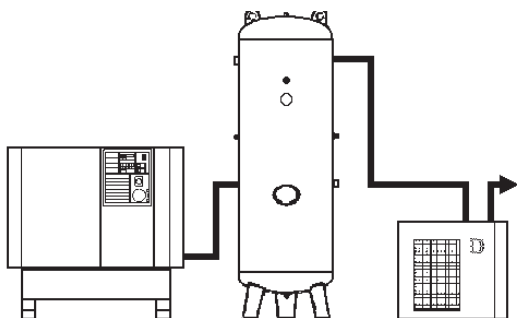


Fig. 5.20 :
Køletørrer placeret efter trykluftbeholder

Fordele:

- Bedre dimensionering af køletørreren.
Tørreren kan dimensioneres efter det aktuelle tryklufforbrug, eller for en delstrøm.
- Tørring af en ikke turbulent volumenstrøm.
- Lav trykluft tilgangstemperatur.
Tryklufften har muligheden for at køle ned i trykluftbeholderen.
- Lave kondensatmængder.
De udskilte kondensatdråber opsamles i trykluftbeholderen og belaster ikke resten af anlægget.

Ulemper:

- Kondensat i trykluftbeholderen.
Fugt i trykluftbeholderen fører til korrosion.
- Overbelastning af tørreren.
Tørreren overbelastes, hvis der forekommer pludseligt, højt tryklufforbrug. Trykdugpunktet på tryklufften stiger.

Konklusion

I de fleste tilfælde anbefales en placering af tørreren efter trykluftbeholderen. Rent økonomiske fordele bidrager hertil. I reglen kan en mindre tørrer vælges. Den udnyttes bedre.

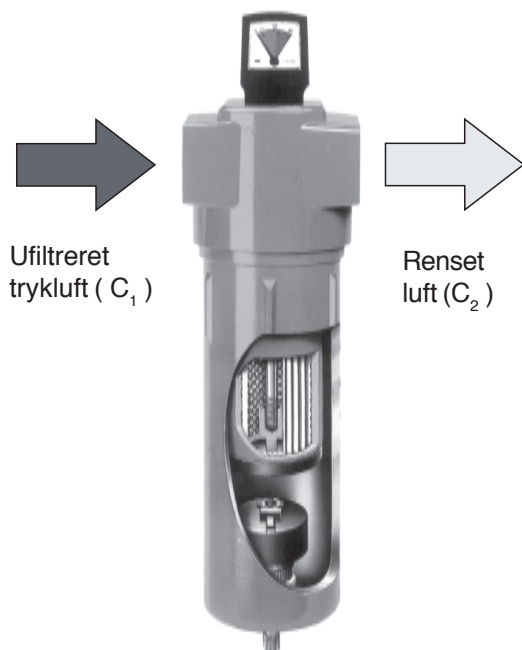
5.5 Trykluffiltre

5.5.1 Terminologi om filtre

En bedømmelse og anvendelse af filtre kræver definition af visse værdier og fakta.

5.5.1.1 Filter udskilningsgrad η [%]

Filterudskilningsgraden η angiver forskellen mellem koncentrationen af snavsindholdet **før** og **efter** filteret. Dette kaldes også for virkningsgraden. Filter udskilningsgraden η er et mål-sat udtryk for filterets effektivitet. Den mindste kornstørrelse [μm], som filteret kan udskille, skal altid være angivet.



$$\eta = 100 - \left(\frac{C_1}{C_2} \times 100 \right)$$

C_1 = Koncentration af urenheder **før** filteret.

C_2 = Koncentration af urenheder **efter** filteret.

η = Filter udskilningsgrad [%]

Koncentrationen måles almindeligvis efter forholdet af vægt pr. volumen enhed [g/m^3] af tryklufften. Ved svagere koncentrationer, angives disse i reglen, som antal af partikler pr. volumenenhed [Z/cm^3]. Den sidstnævnte metode bruges næsten altid ved måling af højt effektive filtre. Måling af vægt/volumen forholdet med tilstrækkelig nøjagtighed, ville ikke svare til de derved nødvendige anstrengelser.

Fig. 5.21 :
Forfilter
 $\eta = 99,99\%$ baseret på $3\ \mu\text{m}$

Eksempel

Trykluft indeholder før filtrering en partikelkoncentration på $C_1 = 30\ \text{mg}/\text{m}^3$. Den rensede luft indeholder efter filtreringen en partikelkoncentration på $C_2 = 0,003\ \text{mg}/\text{m}^3$ med partikelstørrelser over $3\ \mu\text{m}$.

$$\eta = 100 - \left(\frac{30}{0,003} \times 100 \right)$$

$$\eta = 99,99\%$$

Filteret har en udskilningsgrad på $99,99\%$ baseret på $3\ \mu\text{m}$.

Trykluft efterbehandling

5.5.1.2 Tryktab Δp

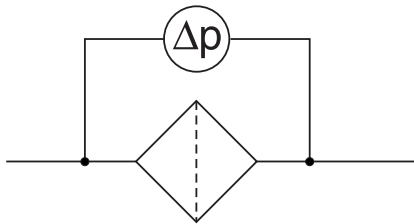


Fig. 5.22 :
Generelt filter med Δp måleudstyr

Tryktabet Δp er den strømningsbetingede forskel på trykket **før** og **efter** filteret. Tryktabet Δp i filteret stiger efterhånden som støvpartikler og snavs opsamles i filterelementet.

- Δp_0 er tryktabet for nye filterelementer. Det ligger på mellem 0,02 og 0,2 bar, afhængigt af filtertypen.
- Den økonomisk acceptable grænse for trykfaldet Δp ligger omkring 0,6 bar.

I de fleste filtre er der installeret måleudstyr for måling af trykdifferensen.

Hvis tryktabet Δp overskrider grænsen, skal filteret enten renses, eller elementet skal udskiftes.

5.5.1.3 Driftstryk

Den maksimale volumenstrøm af et filter, henholder sig altid til standardtrykket $p_0 = 7$ bar. Ved forandret tryk ændres også den maksimale gennemstrømning i filteret. Ændringen i volumenstrømmen kan nemt beregnes ved hjælp af faktor f i nedenstående tabel.

Tryk [bar _o]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Faktor f	0,25	0,38	0,5	0,65	0,75	0,88	1	1,13	1,25	1,38	1,5	1,63	1,75	1,88	2

Eksempel

Et forfilter med en nom. gennemstrømning på 300 m³/h ved et standard tryk på $p_0 = 7$ bar skal anvendes ved et tryk på $p_0 = 10$ bar.

$$Y_7 = 300 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$p_0 = 10 \text{ bar} \quad \Rightarrow \quad f = 1,38$$

$$Y_{10} = Y_7 \times f$$

$$Y_{10} = 300 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,38$$

$$Y_{10} = 414 \text{ m}^3/\text{h}$$

Y_{10} = effektiv ydelse ved $p_0 = 10$ bar [m³/h]

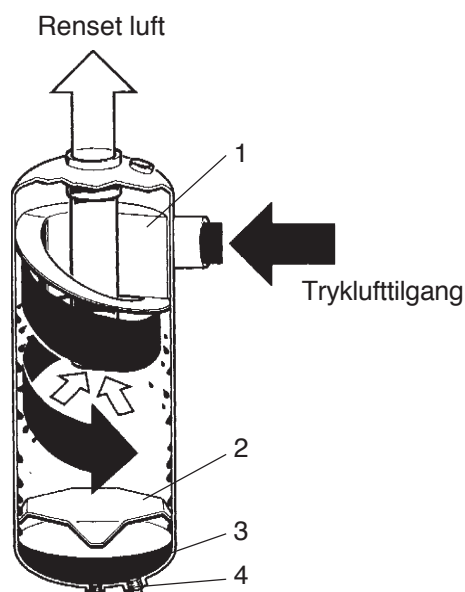
R_7 = effektiv ydelse ved $p_0 = 7$ bar [m³/h]

f = Omregningsfaktor for $p_0 = 10$ bar

Ved et tryk på $p_0 = 10$ bar har filteret en effektiv nominel ydelse på 414 m³/h.

5.5.2 Støvdskillere

Differens-tryk Δp [bar]	Udskilings-grad [%]	Partikel-størrelse [μm]	Restolie-indhold [mg/m^3]
> 0,05 bar	95 %	> 50 μm	Ingen indflydelse



- 1 = Hvirvelindsats
- 2 = Ledeplade
- 3 = Opsamlingsbeholder
- 4 = Kondensatdræn

Fig. 5.23 :
Cyclon udskiller

Efter afgang fra kompressoren, vil tryklufften indeholde vand i form af damp, men også i form af kondensatdråber. Disse dråber dannes under komprimeringen, da luften ikke mere har plads til vandet i det reducerede volumen. Det frie vand udskilles dog først ved temperatursænkning.

Dette vand aflejrer sig normalt i tryklufftbeholderen, hvor luftstrømmen er mere rolig. Derfra aftappes kondensatet.

Funktionsprincip

Støvdskilleren arbejder efter masse-inertiprincippet. Den består af en hvirvelindsats og en opsamlingsbeholder. Hvirvelindsatsen er beregnet til at sætte luften i en roterende bevægelse. Faste og flydende bestanddele i luften slynges af deres egen inertie mod de indvendige vægge af beholderen. Herved udskilles tunge partikler af støv og små vanddråber. De udskilte fremmedlegemer passerer ledepladen og ender i opsamlingsbeholderen. Ledepladen forhindrer også, at luftstrømmen medriver opsamlet væske.

Kondensatet kan bortledes automatisk eller manuelt og blive bortledet miljømæssigt korrekt eller genbehandlet.

Egenskaber

- Næsten total fjernelse af vanddråber.
- Tunge partikler af støv og snavs filtreres væk.
- Filtreringskapaciteten af støvdskilleren afhænger af luftens strømningshastighed. Desto højere strømningshastighed, desto højere effektivitet har filteret. Det må dog her tilføjes, når strømningshastigheden stiger, vil også tryktabet i udskilleren stige

Anvendelsesområder

- Ingen tryklufftbeholder i rørsystemet.
- Store afstande mellem kompressor og tryklufftbeholder. Hvis tryklufftbeholderen står langt fra kompressoren, er der fornuft i at installere en støvdskiller umiddelbart efter kompressoren. Det forebygger unødigt "transport af vand" gennem røret.
- Stigende rørledninger mellem tryklufftbeholderen og kompressoren: Rørledningen mellem kompressoren og tryklufftbeholderen går lodret opad. Når kompressoren stopper, løber kondensatet tilbage til kompressoren. I dette tilfælde er det formålstjenligt at installere en cyclonudskiller, direkte efter kompressoren.

5.5.3 Forfiltre

Differens-tryk Δp [bar]	Udskilnings-grad [%]	Partikel-størrelse [μm]	Restolie-indhold [mg/m^3]
> 0,03 bar	99,99 %	> 3 μm	Ingen indlydelse

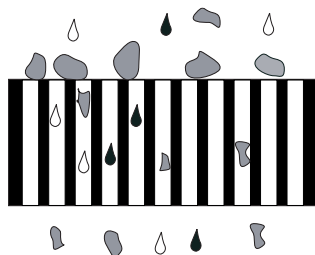


Fig. 5.24 :
Filtreringsmekanisme ved overfladefiltre

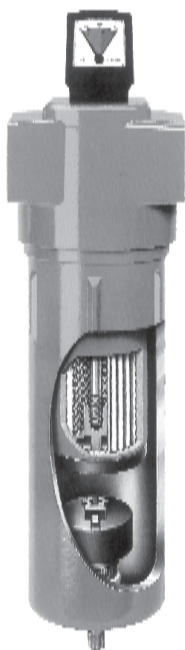


Fig. 5.25 :
Forfilter

Forfiltre filtrerer faste urenheder op til en partikelstørrelse på ca. 3 μm ud af tryklufften, men frafiltrerer kun meget små mængder af olie og fugt. Forfiltre aflaster højt effektive filtre og tørrere, når luften er meget støvet. Er kravene til tryklufftkvaliteten mindre væsentlige, kan der ses bort fra finfiltre.

Funktionsprincip

Forfiltre arbejder efter princippet for overflade-filtrering. De har ren sivrkning. Poredimensionerne angiver dimensionerne for de urenheder, der kan filtreres fra. Urenhederne forbliver udelukkende på den ydre overflade af filterelementet. Standard materialer for filterelement er:

- Sintret bronze.
- Høj molekylær polyethylen.
- Sintret keramik.
- Bronze- eller messingtråd (Groft filtret).
- Plisserede cellulose-papir indsatser.

Luften strømmer gennem filterelementet fra **ydersiden** til **indersiden**. Ved den modsatte strømningsretning ville partiklerne blive opbygget inde i elementet. Den voksende opsamling af faste stoffer ville nedsætte det virksomme filterareal.

Egenskaber

- Genanvendeligt
- Da partikeludskillelsen i forfiltret kun sker på overfladen af filterelementet, er det muligt at rense forfilterelementet.

5.5.4 Mikrofiltre

Differens-tryk Δp [bar]	Udskilings-grad [%]	Partikel-størrelse [μm]	Restolie-indhold [mg/m^3]
> 0,1 bar	99,9999 %	> 0,01 μm	> 0,01

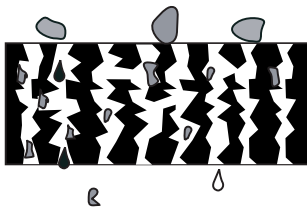


Fig. 5.26 :
Filtreringsmekanisme ved dyblagsfiltre

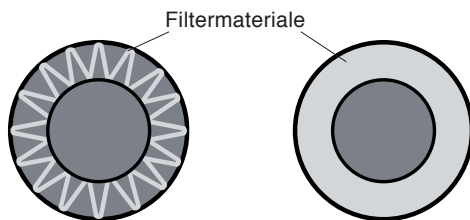


Fig. 5.27 :
Plisseret og viklet filtermateriale



Fig. 5.28 :
Mikrofilter

Mikrofiltre anvendes når der foreligger krav om trykluft med høj kvalitet. De leverer, teknisk set, oliefri trykluft. Mikrofiltre nedsætter restolie indholdet i tryklufften til 0,01 mg/m^3 . De frafiltrerer med en udskilingsgrad på 99,9999 % baseret på 0,01 μm .

Funktionsprincip

Mikrofiltre, også kaldt høj-ydelsesfiltre, er dyblagsfiltre. De filtrerer vand og olie-kondensat fra tryklufften i form af fine og ultra-fine dråber.

Dyblagsfilteret består af et sammenfiltret spind af meget fine fibre. Fibrene er på tilfældig måde slynget sammen og danner derved en porøs struktur. Mellem fibrene danner der sig et labyrintlignende system af passager og åbninger. Dette system har kanaler, der delvist er større end de partikler, der skal udskilles. Partikeludskillelsen sker overalt hvor tryklufften skal passere gennem filterelementer.

Mikrofiltre virker med plisseret filtermateriale. Dette forstørrer den effektive filteroverflade med ca. $\frac{1}{3}$ i sammenligning med et viklet filter. Trykfaldet Δp nedsættes samtidigt betydeligt. Derved opnås følgende fordele:

- Forøget gennemstrømningsvolumen.
- Lavere energitab.
- Længere levetid.

I dyblagsfiltre passerer luften fra **indersiden** til **ydersiden**. Væskefasen bestående af olie og vand, der oplagres under gennemstrømningen på elementets fiberspind. Luftstrømmen driver derefter kondensatet og de stedse større blivende dråber videre gennem og ud af filteret. På grund af denne effekt forlader en del af kondensatet igen filterelementet. På grund af tyngdekraften, samles kondensatet i filterets opsamlings-beholder.

Levetiden for filteret er længere, da det udskilte kondensat ikke belaster elementet mere på grund af den anvendte strømnings-retning.

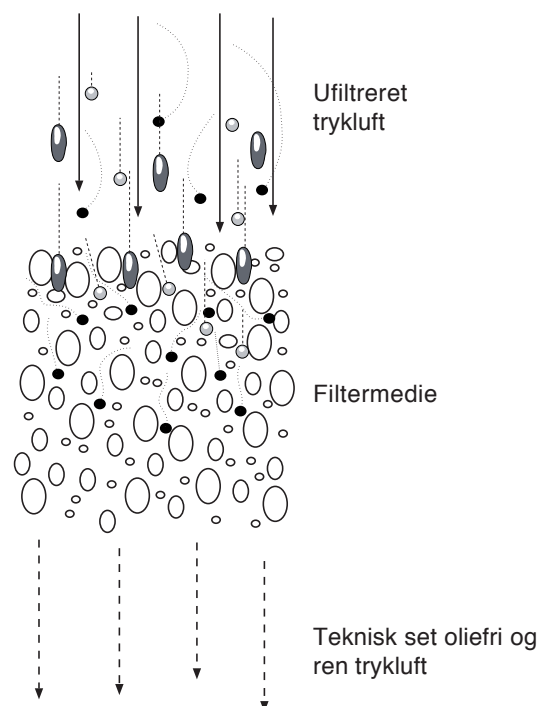


Fig. 5.29
Mekanismer ved dyblags filtrering

Filtermekanismer

Tre forskellige mekanismer virker sammen for udskillelse af de mindste partikler fra luften.

- Direkte kontakt.
Større partikler og dråber rammer fibrene i filtermaterialet direkte og tilbageholdes.
- Sammenstød.
Partikler og smådråber rammer de vilkårligt anbragte fibre i filtermaterialet. De preller af, styres ud af strømningsretningen og absorberes af det næste fiber.
- Diffusion.
Fine og ultra-fine partikler koalerer i strømningsfeltet og samler sig iflg. Brown's lov om molekulær bevægelse til stadig større partikler. Disse partikler udskilles derefter.

Det mest anvendte materiale til højt effektive filtre er et borsilikatmateriale i form af glasfiberlag. Det anvendes som materiale til dyblagsfiltrene. Der anvendes også følgende:

- Metalliske fibre.
- Syntetiske fibre.

Egenskaber

- Udskilning af olie i væskefasen.
Kulbrinter forekommer i to masseformer i trykluft:
 - Gasagtigt som oliegas.
 - Væske i form af smådråber.Et høj-effektivt filter fjerner næsten 100% af oliesmådråberne. Oliegassen kan ikke filtreres fra.
- Lave driftstemperaturer.
Filterets virkningsgrad falder ved stigende temperatur. Nogen af oliens smådråber fordamper og passerer filtret. Ved en temperaturstigning fra +20° til +30° C, passerer 5 gange så meget olie gennem filteret.
- Genanvendelighed.
De anvendte materialer er valgt under hensyntagen til miljømæssige, økologiske synspunkter.

5.5.5 Filter med aktivt kulstof

Differens-tryk Δp [bar]	Udskilnings-grad [%]	Partikel-størrelse [μm]	Restolie-indhold [mg/m^3]
> 0,02 bar	99,9999	0,01	> 0,005



Fig. 5.30 :
Kombinationsfilter
Et aktivt kulstoffilter med mikrofilter forbundet i serie

Efter passage gennem højt effektive filtre og tørrer indeholder den teknisk set oliefri trykluft, endnu kulbrinter, samt forskellige lugt- og smagsstoffer.

Der er talrige anvendelsesområder for trykluffen, hvor disse reststoffer vil fremkalde produktionsforstyrrelser, kvalitetsnedsættelser og lugtgener.

Et filter med aktivt kulstof fjerner kulbrintedampene fra trykluffen. Restolie indholdet kan reduceres ned til 0.005 mg/m^3 . Kvaliteten af luften bliver bedre end den, der kræves til åndedrætsluft i h.t.DIN 3188. De kondenserede små oliedråber er allerede udskilt af det foran i serie installerede filter.

Funktionsprincip

Filtrering af trykluft ved hjælp af adsorption er en rent fysisk proces. Kulbrinterne er bundet til det aktive kulstof af vedhængningskraften (udlignet molekulær tiltrækning). Der forekommer ingen kemiske bindinger i denne proces.

Den tørrede og forfiltrerede trykluft ledes gennem et plisseret aktivt kulfilterelement. Udseendet af dette filterelement ligner det, der anvendes i mikrofilteret. Ligesom ved mikrofilteret, ledes trykluffen gennem filterelementet fra den indre til den ydre side af filterelementet.

Egenskaber

- Forfiltrering.
Foran et aktivt kulstoffilter skal der altid være installeret et høj-effektivt filter og en tørrer. Forurenede trykluft ødelægger adsorbermaterialet og nedsætter filterets virkningsgrad.
- Ingen regenerering.
Det aktive kulstof kan ikke regenereres. Det skal udskiftes, under hensyntagen til mætningsgraden.
- Levetid.
Filterelementet for et aktivt kulstoffilter skal udskiftes efter ca. 300 - 400 driftstimer.

Anvendelsesområder

- Levnedsmiddel- og delikatesseindustrien.
- Farmaceutisk industri.
- Kemisk industri.
- Overfladebehandling.
- Medicinsk udstyr.

5.5.6 Adsorption med aktivt kulstof

Differens-tryk Δp [bar]	Udskilnings-grad [%]	Partikel-størrelse [μm]	Restolie-indhold [mg/m^3]
> 0,1 bar	–	–	> 0,003

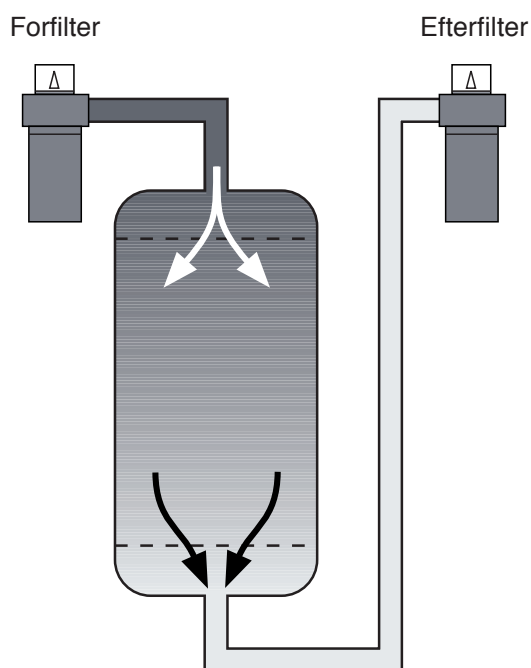


Fig. 5.31 :
Funktionsskema for en
aktiv kulstof adsorber Type DC

Efter passage gennem et højt effektivt filter og en tørrer, indeholder den teknisk set oliefri trykluft, endnu kulbrinter, samt forskellige lugt- og smagsstoffer. Der er talrige anvendelsesområder for tryklufften, hvor disse reststoffer vil fremkalde produktionsforstyrrelser, kvalitets-nedsættelser og lugtgener.

En aktivkulstofadsorber fjerner kulbrintedampene fra tryklufften. Restolie indholdet kan reduceres til $0.003 \text{ mg}/\text{m}^3$. Kvaliteten af luften bliver bedre end den, der kræves til ånderætsluft i.h.t. DIN 3188. De kondenserede små olie-dråber er allerede udskilt af det foran i serie installerede filter (mikrofilter).

Funktionsprincip

Filtrering af trykluft ved hjælp af adsorption er en rent fysisk proces. Kulbrinterne er bundet til det aktive kulstof af vedhængningskraften (udlignet molekulær tiltrækning). Der forekommer ingen kemiske bindinger i denne proces.

Den tørrede og filtrerede trykluft ledes gennem en diffusor ind i det løseligt påfyldte aktive kulstoflag. Diffusoren spredt tryklufften jævnt henover laget. Herved opnås lange kontakttider og en optimal udnyttelse af adsorptionsmaterialet. Efter adsorberlaget passerer tryklufften gennem en afgangssamler og forlader den aktive kulstofadsorber.

Egenskaber

- Forfiltrering.
Foran et aktivt kulstofadsorber skal der altid være installeret et høj-effektivt filter og en tørrer. Forurenede trykluft ødelægger adsorbermaterialet og nedsætter filterets virkningsgrad.
- Efterfiltrering.
Af sikkerhedshensyn bør der installeres et højeffektivt filter efter adsorberen. Tryklufften medfører meget små partikler af kulstof støv, (mindre end $1 \mu\text{m}$) med sig fra det aktive kulstoflag.
- Ingen regenerering.
Det aktive kulstof kan ikke regenereres. Det skal udskiftes, under hensyntagen til mætningsgraden.
- Høj levetid.
Den aktive kulstoffyldning skal først udskiftes efter ca. 8000 - 10.000 driftstimer.

Anvendelsesområder

- Som for filtre med aktivt kulstof.

5.5.7 Sterilfiltre

Differens-tryk Δp [bar]	Udskilnings-grad [%]	Partikel-størrelse [μm]	Restolie- indhold [mg/m^3]
> 0,09 bar	99,9999	0,01	–



Fig. 5.31 :
Sterilfilter

Levende organismer som bakterier, bakteriofager og virusser er på mange områder et stort sundhedsproblem . Sterile filtre sikrer 100 % steril og kim-fri trykluft.

Funktionsprincip

Den forud rensede luftstrøm ledes ude fra til det indre af filterelementet. Dette har to filtreringstrin. Forfilteret optager mikroorganismer op til 1 μm . Det andet filtertrin består af et kemisk og biologisk neutralt, tre-dimensionalt mikrofibrervæv, fremstillet af borsilikat. Her frafiltreres de tilbageværende organismer. Filterelementerne holdes på plads af et rustfrit stålnet.

Filtrene kan renses og steriliseres op til 100 gange. Rensningen sker ved hjælp af op til +200° C varm damp, der strømmer gennem filtret. Dampen kan sendes gennem filtret fra begge sider. Sterilisering kan også gennemføres med andre medier:

- Hedt vand
- Hedt luft
- Gas (Ethylenoxid, formaldehyd)
- H_2O_2

Egenskaber

- Rustfrit stålmateriale.
Alle metaldele af filtret er fremstillet af højt-legeret rustfrit stål. Rustfrit stål afgiver ingen næringsstoffer for mikroorganismer. Materialet kan hverken korrodere eller rådne.
- Modstandsdygtigt.
Filtermediet er inaktivt og modstandsdygtigt overfor kemikalier og høje temperaturer. Bakterier kan ikke gro på eller komme gennem det.
- Korte sterile kontakt afstande.
Et sterilfilter bør installeres direkte ved det endelige slutbruger udstyr.

Anvendelsesområder

- Levnedsmiddel- og delikatesseindustrien.
- Farmaceutisk industri.
- Kemisk industri.
- Emballeringsindustri.
- Medicinsk udstyr.

6. Fjernelse af kondensat

6.1 Kondensat

Kondensatet består for størstedelen af den med luften ind sugede fugt, der ved kompressionen fortættes til vand. **Kondensatet** indeholder desuden mange **forureninger**.

- Mineralolie aerosoler fra ind sugningsluften.
- Støv- og snavspartikler i utallige former fra atmosfæren.
- Køle- og smøreolie fra kompressoren.
- Rust, partikler, stumper af pakningsmateriale og svejseperler fra rørnettet.

Kondensatet er meget forurenet med miljøfarlige stoffer, og må derfor kun fjernes under hensyntagen til de gældende miljøregler. Mineralolierne i kondensatet er vanskelige at nedbryde rent biologisk og skader iltning og slamdannelsen i vore spildevands renselanlæg. Dette nedsætter de miljømæssige bestræbelser for renholdelse af vort drikkevand. I konsekvens heraf er det en fare for miljøet og den menneskelige sundhedstilstand.

Der kan imidlertid skelnes mellem kondensaterne fra de forskellige trykluftssystemer. Kondensatet har nemlig forskellige egenskaber, afhængigt af det omgivende miljø og den anvendte kompressor. For eksempel :

- Oliesmurte kompressorsystemer.
I kompressorer af denne type vasker olien i kompressionsrummet de aggressive og faste stoffer ud af trykluft. Resultater heraf bliver, at oliesmurte systemer i reglen afgiver et kondensat der har en pH-værdi der ligger i det neutrale område.
- Oliefri kompressorsystemer.
De fleste af de skadelige stoffer i det oliefr system afgives sammen med kondensatet. Dette er derfor årsagen til en syrlig pH-værdi; pH-værdier mellem 4 og 5 er ikke sjældne.

Konsistensen af kondensatet ændrer sig også sammen med de marginale betingelser. De fleste kondensaters viskositeter ligner vand. I særlige tilfælde kan der dog forekomme kondensater i pastaform.

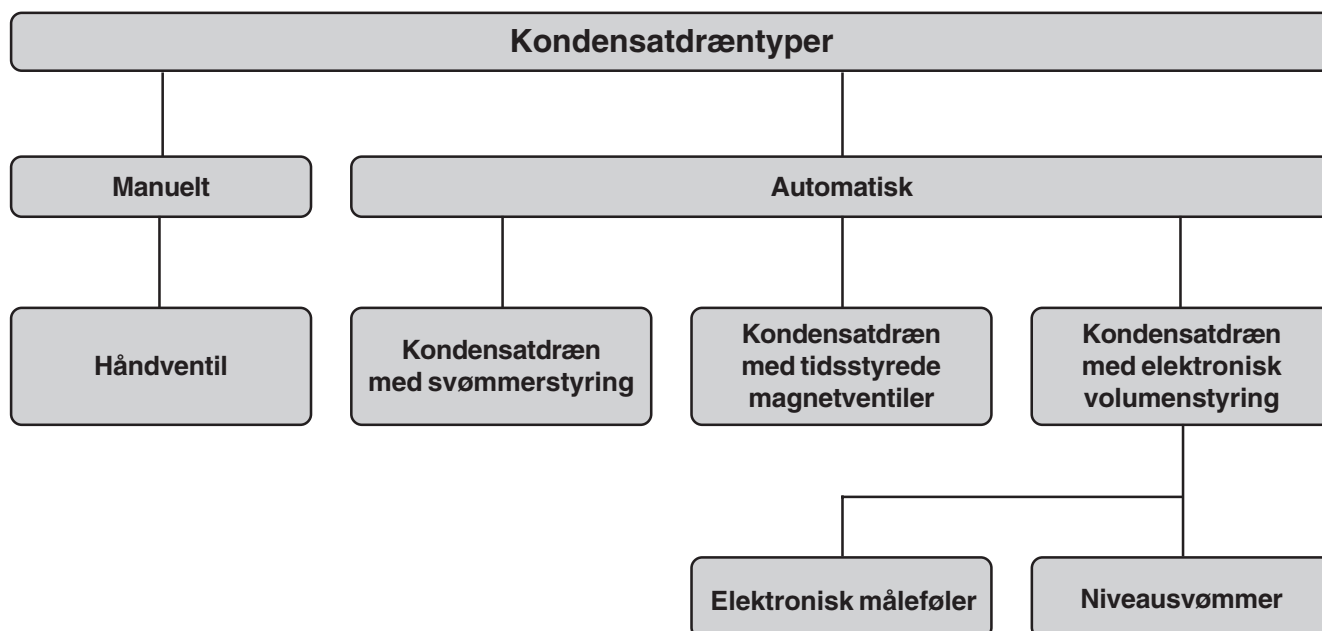
6.2 Kondensatdræn

Overalt, hvor der opstår kondensat i et pneumatisk system, skal det fjernes. Sker dette ikke, vil luftstrømmen føre kondensatet med og så ender det i rørnettet.

Det faktum, at kondensatbeholdere står under tryk, gør kondensatdrænene noget dyrere. Kondensatet skal endvidere bortledes så unødvendige tryktab ikke forekommer.

Der må endvidere tages hensyn til at kondensatet ikke fremkommer kontinuerligt. Kondensatmængden skifter med indsugningsluftens temperatur og fugtindhold.

Oversigten viser drænkonstruktionstyper i h. t. deres virkemåde.



Ved valg af kondensatdræn, uanset typekonstruktion, skal kondensatet selv og dets særlige forhold altid tages i betragtning. Specielle anvendelsesformer kræver særlige kondensatdræn :

- Korrosive kondensater.
- Pastaformede kondensater.
- Eksplosionsfarlige områder.
- Lavtryks- og partielle vakuumnetværk.
- Høj- og ultrahøjtryksnetværk.

Kondensatdræn kan ikke anvendes uden varmetilgang i områder med negative temperaturer. Vandindholdet i kondensatet vil fryse.

Fjernelse af kondensat

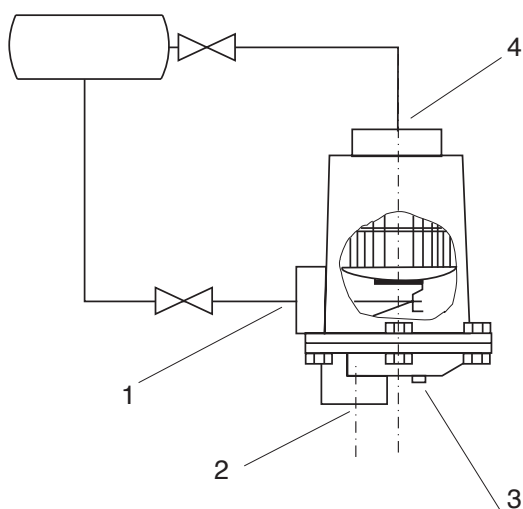
6.2.1 Kondensatdræn med håndbetjente ventiler

Kondensatet opsamles i en passende beholder (Tank). Service- eller driftspersonalet skal regelmæssigt kontrollere væskestanden i beholderen. I givet fald aftappes kondensatet gennem en monteret håndbetjent ventil i beholderens bund.

Egenskaber

- Simpel, billig konstruktion.
- Kræver ikke el-tilslutning.
- Har ingen alarmfunktion.
- Regelmæssig manuel kontrol nødvendig.
Kondensatet skal aftappes med regelmæssige intervaller.

6.2.2 Kondensatdræn med svømmerstyring



- 1 = Tilgangsledning
- 2 = Afgangsledning
- 3 = Drænprop
- 4 = Udluftning

Fig. 6.1 :
Kondensatdræn med svømmerstyring

I beholderens indre er der anbragt en svømmer der styrer åbningen af den monterede aftapningsventil i bunden af beholderen ved hjælp af en vægtstang. Stiger væskestanden over et forud bestemt niveau, åbnes aftapningsventilen. Overtryk i systemet presser kondensatet ud indtil det falder under sit minimum. Ventilen lukker automatisk før tryklufften kan undslippe.

Kondensatet er nu separeret og kan gennem en rørledning sendes til efterbehandling.

Egenskaber:

- Simpel, relativt billig anordning.
- Kræver ikke el-tilslutning.
Ideel for anvendelse i eksplosionsfarlige områder.
- Ingen afblæsning af tryklufft.
- Følsom overfor funktionsfejl.
Systemets enkeltdele kan størkne fast, klæbe eller korrodere ved direkte kontakt med kondensatet
- Regelmæssig service er påkrævet.
På grund af følsomheden overfor funktionsfejl kræves det, at der gives regelmæssige service.
- Intet eksternt alarmsignal.
- Ikke særligt fleksibelt.
Svømmerventilerne skal være tilpasset for kondensatets specielle kemiske sammensætning.

6.2.3 Kondensatedræn med tidsstyrede magnetventiler



Fig. 6.2 :
Elektromagnetisk drænventil

Kondensatet opsamles i en passende beholder. Ved faste, styrede intervaller (1.5 til 30 min.) åbner en magnetventil drænet i bunden af tanken. Efter en åbningstid på 0.4 til 10 s lukker ventilen igen. Kondensatet trykkes ud af beholderen ved hjælp af systemtrykket.

Drænventilen er ved hjælp af en rørledning sat i forbindelse med kondensat efterbehandlings udstyret.

Bemærk

Hvis det ønskes, at der ikke forefindes kondensat i trykluftrørnettet skal **alt** kondensat aftappes. Individuelt stilbare åbningsstider for magnetventilen garanterer en perfekt fjernelse af kondensatet.

Kondensatmængden er om sommeren væsentligt større end om vinteren, da luftens fugtighed er betydeligt højere i de varme perioder. Såfremt åbningsstiderne og intervallerne for den højere sommer luftfugtighed ikke kan ændres ved lavere temperaturer, vil dette fremkalde store tryktab, da magnetventilerne vil stå åbne for længe. Ikke alene kondensat, men også for meget trykluft vil blive afblæst.

For at undgå store tab af trykluft, skal cyklus tiderne for ventilerne altid justeres passende til de lokale vejrforhold.

Da vejrforholdene ikke altid er konstante er det dog ikke muligt at justere tidsintervaller og åbningsstider, så der ikke tabes mindre mængder af trykluft. Enten må en del af kondensatet blive i systemet eller også må der regnes med afblæsning af mindre mængder trykluft.

Egenskaber

- Meget driftssikker.
Systemet fungerer sikkert, selv med problematiske kondensater.
- Kræver el-tilslutning.
- Intet eksternt fejlsignal.
- Ingen alarmfunktion.
- Magnetventilen sættes i drift når kompressoren er sat i drift. Det gælder selvom der ikke er behov for trykluft (F. eks. i weekend'en).

Fjernelse af kondensat

6.2.4 Kondensatdræn med elektronisk volumenstyring

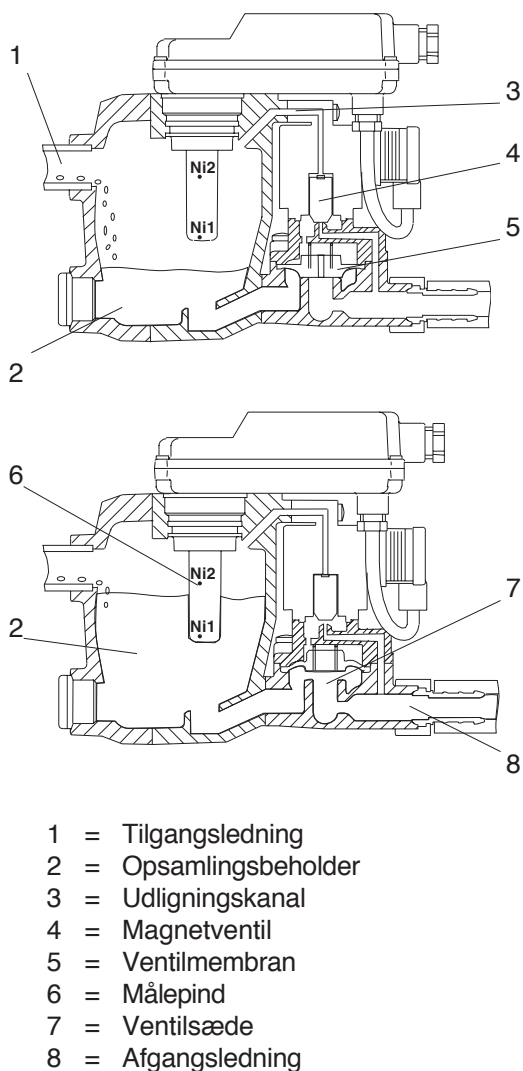


Fig. 6.3 :
Kondensatdræn med elektronisk volumenstyring

Drift

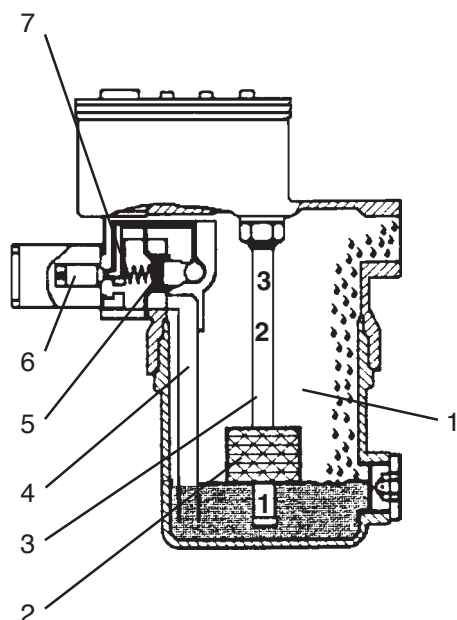
Kondensatet samles i en passende beholder. Når den kapacitive niveauføler **Ni2** angiver, at det maksimale niveau er nået, åbner en magnetventil for en udligningskanal. Trykket på ventilmembranen afblæses og afgangsledningen åbnes. Overtrykket i huset presser kondensatet ud gennem afgangsledningen.

Så snart niveauet falder til den kapacitive niveauføler **Ni1**, lukkes magnetventilen af elektronikken, og ventilmembranen lukkes før der kan undslippe trykluft.

Egenskaber

- Meget driftssikker.
Systemet fungerer sikkert, selv med problematiske kondensater.
- Store tværsnit.
Selv større urenheder og koagulerede stoffer kan bortledes uden vanskeligheder.
- Intet tryktab.
- Strømforsyning påkrævet.
- Fleksibel anvendelse.
Systemet indstiller sig selv for skiftende driftsforhold, som f. eks. varierende kondensatviskositet og tryksvingninger.
- Alarmfunktion.
Ved en fejlfunktion af aftapningen udløses efter 60 sek. en alarm. Magnetventilen åbner derefter ventilmembranen ved bestemte intervaller.
- Eksternt fejlsignal.
Et rødt LED blinker og et potentielt-frit signal er klar.
- Stort ydelsesområde.

6.2.5 Kondensatdræn med niveaustyring



- 1 = Samlebeholder
- 2 = Svømmer
- 3 = Styr
- 4 = Stigerør
- 5 = Ventilmembran
- 6 = Magnetventil
- 7 = Styreledning

Det opsamlede kondensat ledes ind i kondensatdrænets samlebeholder. En svømmer bevæger sig på et styr sammen med kondensatniveauet i samlebeholderens kammer. Styret er forsynet med tre elektroniske kontakter, der angiver niveauet i kammeret. Så snart svømmeren kommer til **Kontakt 2**, åbner den elektroniske styring for magnetventilen. Trykket på ventilmembranen udløses gennem udligningskanalen og afgangsledningen åbnes. Systemtrykket presser kondensatet ud af kondensatdrænet gennem et stigerør.

Kondensatniveauet i røret falder. Efter et indstillet tidsforløb t lukker styringen drænet, så ingen trykluft kan forsvinde. Hvis kondensatniveauet ikke når op til **Kontakt 1** indenfor tidsforløbet t , åbnes drænet ved faste intervaller og lukker igen efter et fastlagt tidsforløb. Dette sikrer, at opsamlingskammeret tømmes totalt.

Kommer kondensatniveauet op til **Kontakt 3**, afgiver styringen en hovedalarm. Kontaktintervallerne og åbningstiderne forbliver uændrede.

Egenskaber

- Tidsafhængige rensningscyklusser.
Selv ved lange tomgangstider opstår intet tørret kondensat.
- Intet tryktab.
- Strømforsyning påkrævet.

Fig. 6.4 :
Kondensatdræn med niveaustyring

6.3 Kondensatbehandling

Afhængigt af årstiderne indeholder kondensatet fra oliesmurte kompressorer en olieandel på mellem 200 and 1000 mg/l. Det vil sige at kondensatet indeholder ca. 99 % vand og kun 1 % olie. Myndighederne kræver, at kondensatet skal behandles som olieholdigt vand og må ikke tømmes ud i det offentlige spildevandssystem. De gældende regler kan indhentes fra de kommunale myndigheder. Generelt er der i disse bestemmelser klargjort, hvilke begrænsninger der er gældende pr. l/kondensat. Denne praksis styres stort set efter de af miljøstyrelsen givne retningslinier.

De gældende regler fra miljøstyrelsen sætter grænsen for restolieindhold i vand til 10 mg/l. Imidlertid anbefales det at holde kontakt med kommunernes spildevandsafdelinger og de af miljøstyrelsen publicerede vejledninger om dette emne.

Dette betyder imidlertid også, at kondensatet skal efterbehandles inden det bortledes til offentlige kommunale afløb.

Bortskaffelse

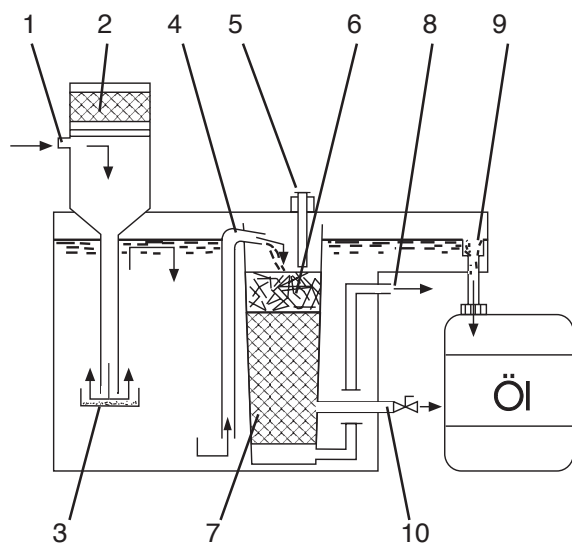
Bortskaffelse af kondensatet ved hjælp af et autoriseret firma kan forekomme men er en ret omstændig og relativt omkostningstung metode. Omkostningerne for godkendte opbevarings-beholdere og røret skal i denne forbindelse også tages i betragtning.

Egen efterbehandling

På grund af det høje vandindhold er det altid mere fordelagtigt at behandle det olieforurenede kondensat i egen virksomhed. Korrekt behandlet vand kan altid bortledes gennem det offentlige spildevandssystem. Den udskilte olie skal bortskaffes efter de gældende miljøregler.

De normalt lovlige grænseværdier kan ikke opnås ved hjælp af normale udskillere for letflydende væsker og ved tyngdekraften beroende udskillere. For den lovlige udskillelse af olien er imidlertid standard olie-vandudskillere et godt hjælpemiddel.

6.3.1 Olie-vandudskillere



- 1 = Kondensattilgang
- 2 = Trykaflastningskammer
- 3 = Snavssamler
- 4 = Overstrømsrør
- 5 = Niveauviser
- 6 = Forfilter
- 7 = Adsorptionsfilter
- 8 = Vandafgang
- 9 = Olieoverstrømningsregulator (Højde justerbar)
- 10 = Prøveudtagningsventil

Fig. 6.5:
Driftsdiagram for en olie-vandudskiller

Olie-vandudskilleren er egnet for behandling af kondensat fra skruekompressorer med olieindsprøjtet køling og for 1 og 2-trins stempelkompressorer. Olie-vandudskilleren udskiller kondensatet fra stempel og skruekompressorer uden vanskeligheder, så længe der anvendes olier der ikke emulgerer.

Drift

Det olieforurenede kondensat ledes ind i trykaflastningskammeret af olie-vandudskilleren. Her nedsættes det overskydende tryk uden at danne turbolens i beholderen. Urenhederne der følger med kondensatet opsamles i den udtagelige snavssamler.

I udskillerbeholderen sætter olien sig på overfladerne på grund af oliens lavere massefylde. Gennem et højde justerbart overløb ledes olien direkte til et oliekar og er klar til miljømæssigt korrekt bortskaffelse.

Det groft rensede kondensat ledes gennem et forfilter, der fjerner de sidste oliedråber. Efter dette opsuger et adsorptionsfilter de sidste dele af olien.

Bemærk

Alle olie-vand udskilningssystemer er vandbehandlingsudstyr, og de skal være godkendte i h.t. gældende forordninger. Olie-vandudskilleren bør forlods være godkendt.

Egenskaber

- Ugentlig filterafprøvning.
En kondensatprøve sammenlignes med en referencevæske. En udskiftning af filteret er nødvendig, når en vis uklarhed er nået i kondensatprøven.
- Ingen udskillelse af olie-vandemulsioner.
Specielt genbehandlingsudstyr for spaltning af emulsioner kræves ved stabile emulsioner.

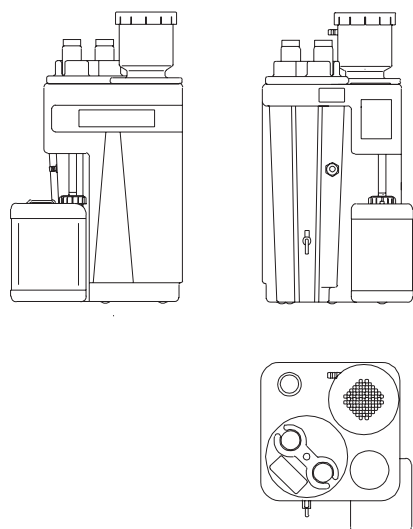


Fig. 6.6 :
Olie-vandudskiller

7. Trykluftforbrug

Det første skridt for dimensionering af et trykluftanlæg og det dertil hørende rørsystem, er fastlæggelse af trykluftforbruget og det deraf følgende krav til kompressorens ydelse.

Først og fremmest er det nødvendigt at bestemme det forventede, samlede forbrug af trykluft. De individuelle forbrugsmængder lægges sammen og tilpasses driftsbetingelserne ved hjælp af visse multiplikatorer. Derefter kan kompressorens størrelse bestemmes på grundlag af den beregnede, samlede ydelse.

Dimensionering af rørnettet sker på lignende måde. Først fastsættes art og antal af trykluftforbrugere til et enkelt afsnit af rørledningen. Dette forbrug lægges sammen og korrigeres med de dertil hørende multiplikatorer. På grundlag af dette resultat kan rørdimensionen for det pågældende afsnit bestemmes.

Ved beregningen af det forventede samlede trykluftforbrug, må der desuden tages hensyn til lækagetab.

7.1 Trykluftforbrug af pneumatisk udstyr

På grund af manglende oplysninger for det anvendte udstyr vil det ofte være vanskeligt under projekteringsfasen at fastlægge det samlede trykluftforbrug. Nogle vejledende data for visse typer af det mest anvendte udstyr er givet i dette kapitel.

Ved de enkelte data for trykluftforbrugende udstyr, er der kun tale om gennemsnitsværdier. Ved en mere nøjagtig beregning henviser vi til de af leverandøren medleverede driftsvejledninger.

7.1.1 Trykluftforbrug af dyser

Trykluftforbruget for dyser af forskellig konstruktion og anvendelsesformål, kan være yderst forskelligt, og er afhængig af flere faktorer:

- Dysens diameter. Større diameter = større forbrug.
- Dysens driftstryk.
Højere tryk giver større trykluftforbrug.
- Dysens udformning.
En simpel, cylindrisk gennemboring har et væsentligt mindre trykluftforbrug end en konisk eller Laval-dyse. (Ekspansionsdyse).
- Overfladekvaliteten af afgangsåbningen.
Hvis overfladekvaliteten er særdeles god (Overfladerne er meget glatte, uden ridser eller ujævnheder), kan der strømme mere trykluft gennem dysen.
- Sprøjtning eller blæsning.
Bruges tryklufften som transportmedie for maling eller sand og lignende, stiger trykluftforbruget.

7.1.1.1 Tryklufforbrug af cylindriske dyser

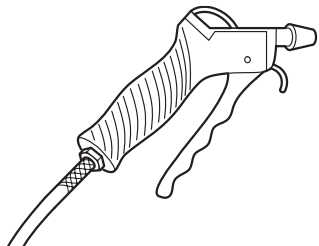


Fig. 7.1 :
Blæsepistol

Dyser med en simpel cylindrisk boring (f.eks. blæsepistoler) danner stærke hvirvler og turbulens i den udstrømmende luft. Dette reducerer strømningshastigheden. Relativt set, er forbruget derfor lavt.

Nedenstående tabel angiver tryklufforbruget for en cylindrisk dyse i forhold til driftstrykket og dysens lysningsdiameter :

Dyse Ø [mm]	Driftstryk [bar _o]						
	2	3	4	5	6	7	8
0,5	8	10	12	15	18	22	28
1,0	25	35	45	55	65	75	85
1,5	60	75	95	110	130	150	170
2,0	105	145	180	220	250	290	330
2,5	175	225	280	325	380	430	480
3,0	230	370	400	465	540	710	790

Det i tabellen angivne luftforbrug er angivet i *l/min* .

7.1.1.2 Tryklufforbrug af malepistoler



Fig. 7.2 :
Malepistol med tilløbsbeholder

Den af en malepistol påførte maling skal være jævnt og dråbefrit fordelt. Derfor er dyserne for malepistoler konstrueret med en ekspanderende og turbulensfri udstrømning med høj afgangshastighed. Som følge heraf har de et tryklufforbrug, der ligger væsentligt over forbruget for de cylindriske dyser.

Konsistensen og den ønskede påføringsmængde af malingen, er bestemmende for den anvendte malepistols arbejdstryk og dysediameter. Begge værdier har stærk indflydelse på tryklufforbruget.

Ved malepistoler skelnes der mellem flad-, bred- og rundstråledyser. På grund af de forskellige stråleformer ændres farvepåføringen. Dette fører igen til forskelle i tryklufforbruget. Mange malepistoler er indrettet for omstilling af farvestrålen.

Nedenstående tabel angiver vejledende værdier for tryklufforbruget, afhængigt af driftstrykket, dysediameter og ståleform:

Dyse Ø [mm]	Driftstryk [bar _o] Flad- og bredstråle						
	2	3	4	5	6	7	8
0,5	100	115	135	160	185	–	–
0,8	110	130	155	180	225	–	–
1,0	125	150	175	200	240	–	–
1,2	140	165	185	210	250	–	–
1,5	160	180	200	225	260	–	–
1,8	175	200	220	250	280	–	–
2,0	185	210	235	265	295	–	–
2,5	210	230	260	300	340	–	–
3,0	230	250	290	330	375	–	–

Det i tabellen angivne luftforbrug er angivet i *l/min*.

Dyse Ø [mm]	Driftstryk [bar _o] Rundstråle						
	2	3	4	5	6	7	8
0,5	75	90	105	–	–	–	–
0,8	85	100	120	–	–	–	–
1,0	95	115	135	–	–	–	–
1,2	110	125	150	–	–	–	–
1,5	120	140	155	–	–	–	–

Det i tabellen angivne luftforbrug er angivet i *l/min*.

7.1.1.3 Tryklufforbrug af jetdyser

Ved påstrøjtning skal mediet med stor kinetisk energi d.v.s., med stor hastighed påføres emnet. Dette er den eneste metode, der vil frembringe et godt slutresultat.

Af denne årsag er dyserne hertil konstrueret for afgivelse af en høj afgangshastighed for tryklufften. Dette fører til et relativt højt tryklufforbrug.

Nedenstående tabel giver et holdepunkt for tryklufforbruget af disse dyser, under hensyntagen til driftstryk og dysediameter:

Dyse Ø [mm]	Driftstryk [bar _g]						
	2	3	4	5	6	7	8
3,0	300	380	470	570	700	–	–
4,0	450	570	700	840	1000	–	–
5,0	640	840	7050	1270	1500	–	–
6,0	920	1250	1600	1950	2200	–	–
8,0	1800	2250	2800	3350	4000	–	–
10,0	2500	3200	4000	4800	6000	–	–

Det i tabellen angivne luftforbrug er angivet i *l/min*.

Trykluftbehov

7.1.2 Tryklufforbrug af cylindre

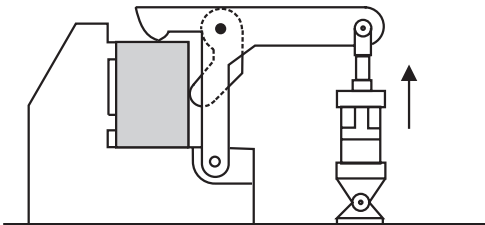


Fig. 7.3:

Klemmeanordning med trykluftcylinder

Trykluftcylindre anvendes hovedsageligt i automatiseringsøjemed. Ved beregning af tryklufforbruget skelnes mellem to cylindertyper:

- De enkeltvirkende cylindre, der kun påvirkes af trykluffen under den udad (fremad) gående bevægelse af stempelstangen. Returbevægelsen sker ved anden kraft eller en fjederpåvirkning.
- Dobbeltvirkende cylindre, hvis bevægelse forbruger trykluft i begge bevægelsesretninger. Som følge heraf er tryklufforbruget dobbelt så stort.

Trykluftcylindres forbrug q beregnes ved hjælp af følgende formel:

$$q = \frac{d^2 \times \pi}{4} \times S \times p \times a \times b$$

q = Luftforbrug (1 bar_{abs} og ved 20° C) [l/min]

d = Stempeldiameter [dm]

S = Længde af stempelvandring (Slag) [dm]

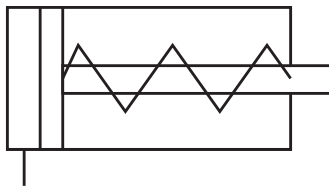
p = Driftstryk [bar_{abs}]

a = Arbejdscyklusser/min [1/min]

b = 1 ved enkeltvirkende cylindre
2 ved dobbeltvirkende cylindre

Eksempel

En enkeltvirkende cylinder med en stempeldiameter på 100 mm skal arbejde ved et driftstryk på 7 bar_{abs}. Slagængden er 120 mm og der udføres 47 slag/min.



$$d = 100 \text{ mm} \quad \underline{\underline{=}} \quad 1 \text{ dm}$$

$$S = 130 \text{ mm} \quad \underline{\underline{=}} \quad 1,3 \text{ dm}$$

$$p = 7 \text{ bar}_{\text{abs}}$$

$$a = 47$$

$$b = 1$$

$$q = \frac{1^2 \times \pi}{4} \times 112 \times 1,3 \times 7 \times 47 \times 1$$

$$q = \text{ca. } 336 \text{ l/min}$$

Denne cylinder forbrug ca. **336 liter** trykluft/min.

7.1.3 Tryklufforbrug af værktøjer

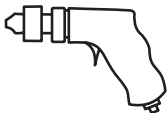

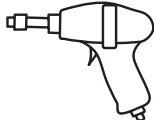
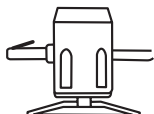

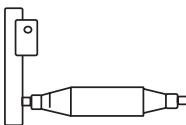
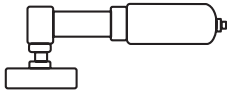



Fig. 7.4 :
Trykluftdrevet slag/momentnøgle

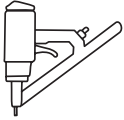
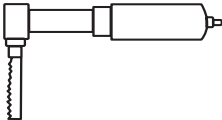
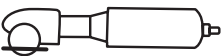
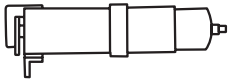

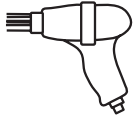
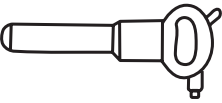
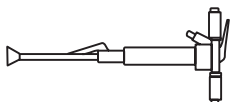
Pneumatisk værktøj hører til de hyppigste tryklufforbrugere i industri og håndværk. Det findes næsten overalt og i stort antal.

Almindeligvis kræver værktøjet et arbejdstryk på 6 bar. For visse arbejdsområder findes der imidlertid værktøjer, der kræver andre arbejdstryk. I disse tilfælde vil tryklufforbruget adskille sig fra de nedenangivne data .

Nedenstående tabel angiver det vejledende tryklufforbrug for enkelte pneumatiske værktøjer. Angivelserne kan afvige fra de af værktøjsproducenten angivne data og må påregnes at være gennemsnitstal.

Værktøj	Arbejdstryk 6 bar	Tryklufforbrug [l/min]
	Håndboremaskine Bor op til 4 mm Ø 4 – 10 mm Ø 10 – 32 mm Ø	200 200 – 450 450 – 1750
	Skruetrækker M3 M4 – M5 M6 – M8	180 250 420
	Momentnøgle M10 - M24	200 – 1000
	Vinkelsliber	300 – 700
	Vibrationsslibemaskine 1/4 Blad 1/3 Blad 1/2 Blad	250 300 400
	Båndsliber	300 – 400
	Håndsliber Spændemuffe 6 - 8 mm Ø 8 - 20 mm Ø	300 – 1000 1500 – 3000
	Hæftemaskine	10 – 60

Trykluftbehov

Værktøj Arbejdstryk 6 bar _o		Trykluftforbrug [l/min]
	Sømpistol	50 – 300
	Stiksav (Træ)	300
	Plastik- og tekstilsakse	250 – 350
	Metalsakse Kantfræser (Træ og plastik) Kanthøvl (Affasning af svejsesømme)	400 – 900 250 – 400 2500 – 3000
	Rustbanker	250 – 350
	Nålehammer (rustfjerner)	100 – 250
	Let universal hammer Nitte-, mejsel- og stemmehammer Let ned- og opbrydningdshammer Svær ned- og opbrydningdshammer Pneumatisk spade Borehammer	150 – 380 200 – 700 650 – 1500 – 3000 900 – 1500 500 – 3000
	Stamper (Støberier) Stamper (Beton og jord) Vibrator (Ind- og udvendig)	400 – 1200 750 – 1100 500 – 2500

7.2 Fastlæggelse af tryklufforbruget

Fastlæggelse af tryklufforbruget i et tryklufførnet sker ikke alene ved en sammenlægning af forbruget af de enkelte værktøjers forbrug. Andre faktorer har indflydelse på forbruget. Det må tages med i betragtning.

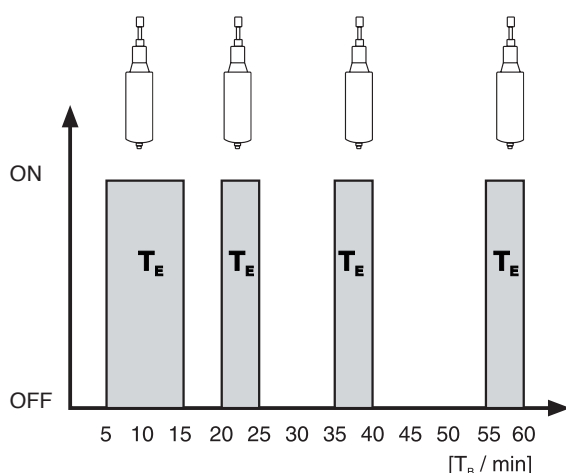
7.2.1 Gennemsnitlig driftstid (Forbrug)

Størstedelen af det pneumatiske udstyr, værktøjer, malepistoler og blæsepistoler er ikke i kontinuerlig drift. De startes og stoppes efter behov. Det er derfor nødvendigt at kende deres gennemsnitlige forbrugstid **FT**, så der kan opnås et så realistisk tal for det samlede tryklufforbrug som muligt.

Følgende formel anvendes ved beregning af **FT**:

$$FT = \frac{T_U}{T_R} \times 100\%$$

FT = Gennemsnits FT [%]
 T_U = Forbrugstid [min]
 T_R = Referencetid [min]



T_U = 25 min

T_R = 60 min

Fig. 7.5 :
Gennemsnitlig forbrugstid

Eksempel

En halvautomatisk skruetrækker er i løbet af en time, 25 min i drift.

$$FT = \frac{25}{60} \times 100\%$$

$$FT = 41,6\%$$

Forbrugstiden **FT** af værktøjet er 41,6 %.

De gennemsnitlige forbrugstider **FT** for hyppigt anvendt pneumatiske udstyr er angivet i nedenstående tabel. Tallene er baseret på generel erfaring og kan i specielle tilfælde være stærkt afvigende.

Værktøj	Gennemsnitlig forbrugstid
Boremaskiner	30 %
Slibemaskiner	40 %
Mejselhamre	30 %
Stampere	15 %
Formemaskiner	20 %
Blæsepistoler	10 %
Værktøjsmaskiner	75 %

7.2.2 Samtidsfaktor

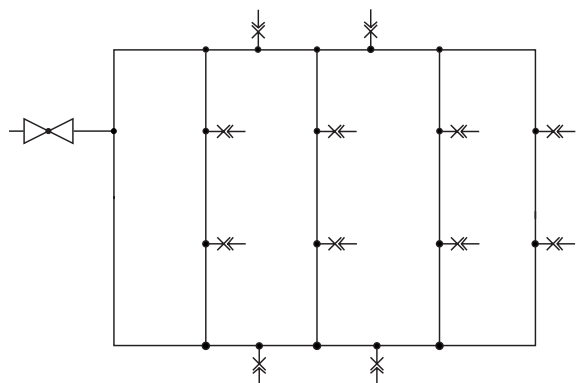


Fig. 7.6 :
Forsyning af flere forbrugere gennem et trykluftrørnet .

Samtidsfaktoren f er en empirisk værdi. Den er baseret på erfaringen af, at ikke alle forbrugssteder er i drift samtidigt. Samtidsfaktoren f er en multiplikator, som tilpasser det samlede tryklufforbrug af et antal forbrugssteder til de reelle forhold.

Nedenstående tabel angiver de alment anerkendte værdier for samtidsfaktoren f :

Antal forbrugere	Samtidsfaktor f
1	1,00
2	0,94
3	0,89
4	0,86
5	0,83
6	0,80
7	0,77
8	0,75
9	0,73
10	0,71
11	0,69
12	0,68
13	0,67
14	0,66
15	0,64
16	0,63

Samtidsfaktoren f anvendes for følgende tryklufforbrugere:

- Ikke-automatiske dyser som beskrevet i **kapitel 7.1.2**.
- Ikke automatisk værktøj som beskrevet i **kapitel 7.1.3**.
- Værktøjsmaskiner, automatisk produktionsudstyr og lign., hvis intet andet er specificeret.

7.2.3 Definerings af det samlede trykluftforbrug

Ved fastlæggelse af det totale trykluftbehov for et trykluft - opdeles forbrugsudstyret i to grupper:

- Automatiske trykluftforbrugere.
- Generelle trykluftforbrugere

7.2.3.1 Automatiske trykluftforbrugere

Forbrugsgruppen består af automatisk virkende trykluft-cylindre, maskineri i vedvarende drift og længere varende arbejdsprocesser, der bruger trykluft. Disse skal medtage med deres fulde forbrug q i forbrugsberegningen.

Automatiske trykluftforbrugere	Arbejds-tryk [bar _o]	Antal Q [Enhed]	Individuelt forbrug q [l/min]	Q × q [l/min]
Automatiske trykluftcylindre	6	2	336	672
Arbejdende maskiner	5	1	310	310
Det totale trykluftforbrug T_o for alt automatisk udstyr [l/min]				Σ 982 l/min

Trykluftbehov

7.2.3.2 Generelt trykluftudstyr

Da de fleste arbejdsprocesser er tidsbestemte, kan der beregnes en gennemsnitlig forbrugstid **FT**. Visse forbrugere er ofte ikke samtidigt i brug.

Den gennemsnitlige forbrugstid **FT** og samtidsfaktoren **f** anvendes for det generelle udstyr, som en forbrugs formindskende multiplikator ved den endelige beregning.

Generelle trykluftforbrugere	Arbejds-tryk [bar _o]	Forbruds-tid FT [%]	Antal Q [Enhed]	Individuelt forbrug q [l/min]	Q × q × FT / 100 [l/min]	
Malepistoler ø 1,5 mm	3	40	1	180	72	
Blæsepistoler ø 1,0 mm	6	10	3	65	19,5	
Skruetrækker M10	6	20	3	200	120	
Bor op til ø 20 mm	6	30	1	700	210	
Vinkelslibere	6	40	2	500	400	
Sum T for trykluftforbrug af alle generelle trykluftforbrugere					[l/min]	∑ 821,5
Samtidsfaktor T						0,71
Trykluftforbrug T_f af generelle trykluftforbrugere		T_f = f × T		[l/min]	583,3	

7.2.3.3 Totalt trykluftforbrug

Det totale, teoretiske trykluftforbrug \dot{V} er summen af forbruget af det automatiske og generelle trykluftudstyr.

$$\begin{aligned} \dot{V} &= T_o + T_f \\ \dot{V} &= 982 + 583,3 \\ \dot{V} &= 1565,3 \text{ l/min} = 1,57 \text{ m}^3/\text{min} \end{aligned}$$

Imidlertid er det beregnede, totale trykluftforbrug endnu ikke tilstrækkeligt for bestemmelse af kompressorens ydelse og dimensionering af det nødvendige trykluft røranlæg. Der skal tages hensyn til en række marginale ændringer.

7.2.4 Marginalværdier for imødegåelse af tab og opretholdelse af en reserve.

Margin	[%]
Tab	5 - 25
Reserve	10 - 100
Fejlberregning	5 - 15

For opnåelse af en realistisk kompressorydelse for et antal værktøjer og udstyr, er det nødvendigt at indkalkulere visse margener:

Tabmargen v [%]

Tabene v skyldes lækager og friktion, der opstår i alle dele af det pneumatiske system. Nye anlæg kræver et tillæg på ca. 5 % af FAL. Da lækage- og friktionstabene imidlertid tiltager med anlæggets alder, bør der regnes med tabstillæg op til 25 % ved ældre anlæg.

Reserve r [%]

Et trykluftanlæg dimensioneres i reglen ud fra skønnet over det nuværende forbrug. Erfaringen har imidlertid vist, at forbruget stiger efterhånden. Det er derfor tilrådeligt at medtage kort- eller langfristede udvidelser af anlægget, når kompressor og rørdimensioner bestemmes. Undlades dette, kan en senere udvidelse medføre unødvendigt høje omkostninger. Perspektiverne taget i betragtning kan r i visse tilfælde udgøre op til 100%.

Fejlmargen f [%]

Uanset den omhu der er anvendt ved beregningen af det forventede trykluftforbrug, kan beregningen være behæftet med fejl. Et nøjagtigt tal kan i reglen ikke opnås, da ikke alle værdier kan fastlægges entydigt under planlægningen. Hvis et trykluftanlæg er udlagt for småt og senere skal udvides, vil der opstå ekstra omkostninger (Anlægget er ude af drift), så et tillæg f på 5 - 15 % er tilrådeligt som en fejlmargen.

7.2.5 Krævet FAL = L_B

Til den krævede ydelse L_B , tillægges 5 % for tab, 10 % for reserve og en 15 % margin for fejl.

$$\dot{V} = 1565,3 \text{ l/min}$$

$$v = 5 \quad \%$$

$$r = 10 \quad \%$$

$$e = 15 \quad \%$$

$$L_B = \frac{\dot{V} \times (100 + v + r + e)}{100}$$

$$L_B = \frac{1565,3 \times (100 + 5 + 10 + 15)}{100}$$

$$L_B = 2035 \text{ l/min} = 2,04 \text{ m}^3/\text{min}$$

Den krævede FAL ydelse L_B , der sikrer forsyning til brugerens udstyr, er ca. 2035 l/min. Dette tal danner basis for dimensionering af kompressor og rørledninger.

7.3 Tryklufftab

Trykluffabet er den mistede trykluft (Lækager) i rørettet, der ikke er anvendt til produktion. Disse tab kan under særligt uheldige omstændigheder komme op på 25% af kompressorens totale FAL-ydelse.

Årsagerne er mangeartede:

- Lækkende ventiler.
- Lækager i skruede eller flangede samlinger.
- Lækager i svejsetsømme og lodninger.
- Ødelagte slanger og slangeforbindelser.
- Defekte magnetventiler.
- Blokkerede svømmerudladere .
- Forkert installerede tørrere, filtre og serviceudstyr.
- Korroderede rørledninger.

7.3.1 Omkostninger på grund af tryklufftab

Lækager i en rørledning virker som dyser, fra hvilke der udstrømmer luft ved høj hastighed. Disse lækager forbruger trykluft døgnet rundt. Kompensering af disse tab kræver store energimængder. Selv om der ikke opstår fysiske skader, kan de heraf følgende omkostninger få alvorlige konsekvenser for anlæggets driftsøkonomi.

Et eksempel anskueliggør størrelsesordenen af disse ekstra omkostninger:

Ved et netværkstryk på 8 bar, strømmer ca.75 l/min =4,5 m³/h fra et hul med 1 mm diameter. En motorydelse på 0,6 kW er nødvendig for dette volumen. Ved en el-pris på ca. 1,15 DKR/kWh og 8000 timers drift, løber ekstra omkostningen, afhængigt af motorens virkningsgrad, op til ca. 9.250 DKR pr. år.

Lækage-hul - Ø		Udstrømmende luft ved 8 bar _g	Tab	
[mm]	Size		Energi [kW]	Konterter [DKR/Å]
1	•	75	0,6	9200
1,5	◦	150	1,3	19760
2	◌	260	2,0	29300
3	◯	600	4,4	65600
4	◯	1100	8,8	138325
5	◯	1700	13,2	212000

7.3.2 Mængdebestemmelse af lækagetab

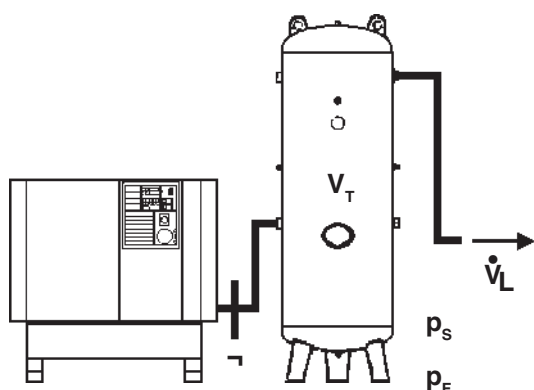
Første trin til at minimere tryklufftab er at beregne mængden af lækager \dot{V}_L . Der er to måder at gøre det på:

7.3.2.1 Bestemmelse af lækagetab ved tømning af trykluftbeholder

Den simpleste måde for bestemmelse af lækagetab \dot{V}_L sker ved tømning af trykluftbeholderen.

Tilgangsrøret til trykluftbeholderen lukkes \neg . Alt forbrugsudstyr skal tages ud af drift. Beholdertrykket p_s falder til trykket p_f på grund af lækagen. Tiden t måles.

Ved hjælp af nedenstående formel kan lækagemængden \dot{V}_L beregnes tilnærmelsesvis:



$$\begin{aligned} V_T &= 1000 \text{ l} \\ p_s &= 8 \text{ bar} \\ p_f &= 7 \text{ bar} \\ t &= 2 \text{ min} \end{aligned}$$

$$\dot{V}_L = \frac{V_T \times (p_s - p_f)}{t}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_L &= \text{Lækagemængde} && [\text{l/min}] \\ V_T &= \text{Beholdervolumen} && [\text{l}] \\ p_s &= \text{Beholdertryk ved start} && [\text{bar}_o] \\ p_f &= \text{Beholdertryk ved afslutning} && [\text{bar}_o] \\ t &= \text{Målt tidsperiode} && [\text{min}] \end{aligned}$$

Eksempel

En trykluftbeholder tilsluttet et stort røret, har et volumen på 1000 l. Indenfor 2 min. falder beholdertrykket fra 8 til 7 bar_o.

$$\begin{aligned} \dot{V}_L &= \frac{1000 \times (8 - 7)}{2} \\ \dot{V}_L &= 500 \text{ l/min} \end{aligned}$$

Lækagemængden for dette trykluftanlæg er ca. **500l/min**.

Bemærk

Denne målemetode er kun anvendelig for trykluftanlæg, hvor rørledningsnettet indeholder mindre end 10 % af trykluftbeholderens volumen. Ellers bliver unøjagtigheden af målingen for stor.

Trykluftbehov

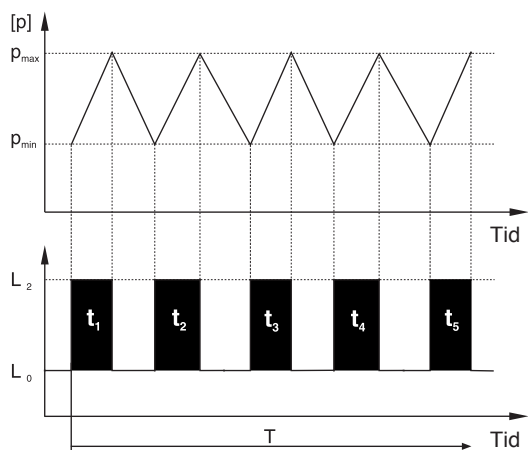
7.3.2.2 Bestemmelse af lækagetab på basis af belastningstid

Den anden metode for måling af lækagemængden \dot{V}_L er måling af kompressorens belastningstid. Denne metode kan kun anvendes ved kompressorer med stop/start eller tomgangsdrift.

Alt tryklufforbrug er afspærret. Lækagerne i anlægget forbruger trykluft og trykket i rørrettet falder. Kompressoren skal erstatte lækagetabene.

Den samlede belastede driftstid af kompressoren ($s t$) måles i et tidsrum (T). For opnåelse af et realistisk resultat, bør måleperioden T mindst være 5 cyklus intervaller af kompressoren.

Med nendestående formel beregnes tilnærmelsesvist volumen af lækagemængden \dot{V}_L :



$$\dot{V} = 1,65 \quad \text{m}^3/\text{min}$$

$$s t = 30 \quad \text{s}$$

$$T = 180 \quad \text{s}$$

$$\dot{V}_L = \frac{\dot{V} \times \Sigma t \times 1000}{T}$$

$$\text{l/min} = \frac{\text{m}^3/\text{min} \times \text{s} \times 1000 \text{ l}}{\text{s} \times \text{m}^3}$$

$$\dot{V}_L = \text{Lækagevolumen} \quad [\text{l/min}]$$

$$\dot{V} = \text{Kompressor FAL} \quad [\text{m}^3/\text{min}]$$

$$\Sigma t = \text{Samlet belastet tid af kompressor} \quad [\text{s}]$$

$$s t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$$

$$T = \text{Måleperiode} \quad [\text{s}]$$

Eksempel

En kompressor med en effektiv FAL \dot{V} ydelse på 1,65 m³/min, belastes fem gange i en måleperiode på $T = 180$ s. Dens samlede belastede tid $s t$ i måleperioden T er 30 s.

$$\dot{V}_L = \frac{1,65 \times 30 \times 1000}{180}$$

$$\dot{V}_L = 275 \text{ l/min}$$

Lækagevolumenet for dette trykluftanlæg er ca. 275 l/min.

7.3.3 Grænser for lækagetab

Desværre er lækagetab uundgåelige ved normale trykluft-anlæg. De derved opståede ekstra omkostninger har en stærk negativ indflydelse på anlæggets driftsøkonomi. For nedsættelse af de opståede tab kan der træffes visse modforanstaltninger. De er imidlertid ikke omkostningsfrie. Ved et eller andet punkt, vil disse omkostninger overskride den derved opnåede besparelse. Målet må derfor være, at nedsætte tryklufftabene til et acceptabelt omkostningsniveau.

Disse overvejelser har på grundlag af økonomiske årsager, ført til disse acceptable tab :

- Maks. 5 % ved mindre røranlæg.
- Maks. 7 % ved mellemstore røranlæg.
- Maks. 10 % ved store røranlæg.
- Maks. 13 - 15 % ved meget store røranlæg.
F.eks., støberier, stålværker, skibsværfter og lign.

7.3.4 Foranstaltninger for nedsættelse af tryklufftab

Virksomhedens medarbejdere bør opfordres til omgående at meddele den anlægsansvarlige om skader og lækager i anlægget. Disse skader skal ufortøvet udbedres. Ved et konstant tilsyn og service af anlægget, vil det ikke under normale forhold være nødvendigt med kostbare istandsættelser af rørnettet, og tryklufftabene vil blive holdt på et acceptabelt niveau.

Lækager

Det er i reglen meget nemt at finde frem til lækager. Store lækager kan i reglen høres.

Imidlertid er små og meget små lækager svære at finde. De kan i reglen ikke høres. I disse tilfælde skal samlinger , forgreninger, ventiler o.s.v., pensles over med et tætningsprøvemiddel eller sæbevand. Ved lækagerne fremkommer der omgående bobler. Der kan også anvendes lækagesøgningsudstyr.

7.3.5 Istandsættelse af trykluft rørnettet

Hvis lækagevolumenet ligger tydeligt over de i **kapitel 7.3.3**, nævnte niveauer, bør det overvejes at istandsætte rørledningsnettet.

Ved istandsættelse af et trykluftrørnet bør følgende overvejelser indgå for en fremtidig reduktion af tryklufftabene:

- Utætte samlinger efterspændes eller pakkes om.
- Utætte ventiler og glidere udskiftes.
- Utætte slanger og slangefittings udskiftes.
- Lækager på rør svejses til.
- Kondensatdræn moderniseres.
Udskift mekaniske svømmerdræn og tidsstyrede magnetventiler med niveaustyrede dræn.
- Moderniser trykluft efterbehandlingsudstyret.
Fjern skadelige urenheder, som vand, olie og støv fra tryklufften.
- Efterse magnetventilerne.
Om muligt, installer normalt lukkede ventiler.
- Gennemskyl eller udskift gamle rørledninger.
Lysningen i gamle rør er ofte formindsket af aflejringer eller rust.
- Efterse rørkoblinger og rørtilslutninger.
Formindsket lysning fører til tryktab.
- Afspær visse sektioner af rørnettet midlertidigt.
Sektioner i større rørnet, der ikke er i brug afspærres.
- Anvend evt. zoneafspærringssystem.

8. Bestemmelse af trykluftanlæggets størrelse

8.1 Kompressortypen

Den grundlæggende beslutning ved opstilling af et kompressor anlæg, er valget af kompressortypen. Skrue- eller stempelkompressorer er næsten altid det rette valg for alle anvendelsesområder.

8.1.1 Skruekompressorer



Fig. 8.1
Skruekompressor

Skruekompressorer er særligt egnede for bestemte anvendelsesområder.

- Lang driftstid **DT**.
Skruekompressorer er særligt anvendelige, når det drejer sig om et stort, kontinuerligt forbrug, og når der ikke skal tages hensyn til store spidsbelastninger ($DT = 100\%$). De egner sig som grundlastmaskiner i kombinerede kompressor anlæg.
- Høje FAL-ydelser.
Skruekompressoren er den mest økonomiske kompressortype, når der kræves høje FAL-ydelser.
- Pulsationsfri volumenstrøm.
På grund af deres jævne kompression, kan skruekompressoren også anvendes til særligt følsomt brugerudstyr.
- Skruekompressorer arbejder økonomisk ved maksimaltryk på mellem 5 og 14 bar.
De nominelle maksimaltryksområder p_{max} for skruekompressorer er 8 bar, 10 bar og 13 bar.

8.1.2 Stempelkompressorer

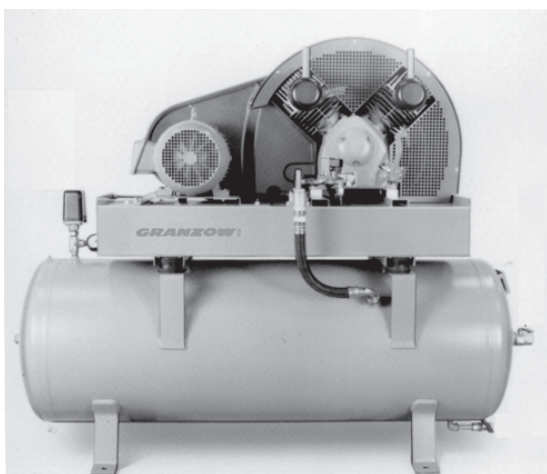


Fig. 8.2 :
Stempelkompressor med liggende trykluftbeholder

Stempelkompressorer har også deres specielle anvendelsesområder. De er et supplement for skruekompressorer.

- Intermitterende drift.
Stempelkompressorer er velegnede for et svingende trykluftbehov med belastningsspidser. De kan anvendes som spidslastmaskiner i et kombineret kompressor anlæg. Ved hyppige belastningsskift er stempelkompressorer det bedste valg.
- Små FAL ydelser.
Når FAL-ydelserne er små, er stempelkompressoren driftøkonomisk bedre end skruekompressoren.
- Stempelkompressoren kan komme op på høje maksimaltryk.
De nominelle maksimaltryks kategorier p_{max} for stempelkompressorer er 8 bar, 10 bar, 15 bar, 30 bar og 35 bar.

Bestemmelse af trykluftanlæggets størrelse

8.2 Maximum tryk p_{\max}

Det næste skridt for bestemmelse af en kompressor med trykluftbeholder og trykluffterbehandling, er fastlæggelse af det maksimale driftstryk p_{\max} .

Basis for det maksimale tryk (Aflastningstrykket p_{\max}) er trykforskellen ($p_{\max} - p_{\min}$) i kompressorstyringen. Det er summen af det maksimale driftstryk fra brugerens udstyr og det samlede tryktab i rørnettet.

8.2.1 Faktorer med indflydelse på aflastningstrykket p_{\max}

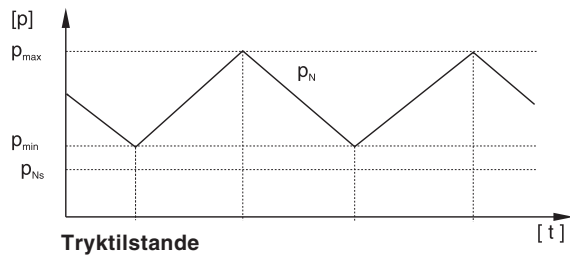


Fig. 8.3 :
Tryktilstande i en trykluftbeholder

Beholdertrykket, som svinger mellem p_{\min} og p_{\max} , skal altid være væsentligt højere end driftstrykket for brugerens tilsluttede udstyr. Derved tages der hensyn til de i tryk-luftrørnet, altid forekommende tryktab.

Der skal tages hensyn til følgende værdier når aflastningstrykket p_{\max} bestemmes:

- Normale trykluftrørnet $\leq 0,1 \text{ bar}$
Rørnettet skal dimensioneres, således at hele rørnettets samlede tryktab Δp ikke ligger over 0.1 bar.
- Store trykluftrørnet $\leq 0,5 \text{ bar}$
Ved et stærkt forgrenet rørnet, f.eks, i miner, stenbrud eller store byggepladser, kan et tryktab Δp på op til 0.5 bar tillades.
- Trykluft efterbehandling med tørrer.
Membrantørrer med filter $\leq 0,6 \text{ bar}$
Trykluft køletørrer $\leq 0,2 \text{ bar}$
Trykluft adsorptionstørrer med filter $\leq 0,8 \text{ bar}$
- Trykluft efterbehandling med filtre og udskillere.
Støvdskiller $\leq 0,05 \text{ bar}$
Filtre generelt $\leq 0,6 \text{ bar}$
Tryktabet Δp gennem filtre fremkommer af tilsmudsning. Grænseværdi for filterelementets udskiftning er angivet.
- Driftskiftecyklus for kompressoren.
Skruekompressorer $0,5 - 1 \text{ bar}$
Stempelkompressorer $p_{\max} - 20 \%$
- Reserver.
Fra tid til anden forekommer der uforudsete tryktab i trykluft-anlæg. Af hensyn hertil bør der altid indregnes en passende reserve, der kan modvirke ydelsestab.

8.3 Bestemmelse af trykluftbeholder volumen

Trykluftbeholdere er beregnet til lagring af trykluft, dæmpning af pulsationer og kondensatudskelelse i trykluftsystemet. For optimal lagring af trykluft, er en korrekt dimensionering nødvendig.

8.3.1 Anbefalede volumener for trykluftbeholdere

Bestemmelse af beholdervolumenet V_R sker hovedsageligt på grundlag af erfaringsværdier. Der kan anbefales følgende forhold mellem kompressorydelse $FAL \dot{V}$ [l/min] og beholdervolumen V_R [l] :

- Stempelkompressorer. $V_R = \dot{V}$
På grund af kompressorens egenskaber, tilstræbes intermitterende drift.
- Skruekompressorer. $V_R = \dot{V}/3$
På grund af kompressorens egenskaber, tilstræbes et jævnt driftsforløb.

Efter bestemmelse af beholdervolumenet for stempelkompressorer, er det hensigtsmæssigt at fastlægge kompressorens driftscyklus, der består af stop- og drifts- (belastet) tider. Derved er det muligt at bestemme antallet af kompressorens driftscykluser.

8.3.2 Standard serier og driftstryk for varierende størrelser af trykluftbeholdere

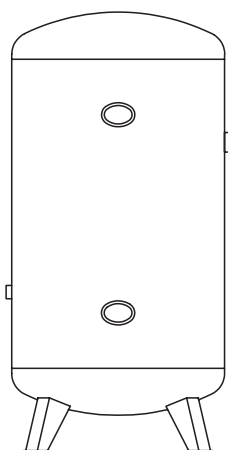


Fig. 8.4 :
Trykluftbeholder, stående

Trykluftbeholdere findes i opdelte volumen-størrelser. Der bør altid vælges en standardstørrelse, for at undgå omkostninger for speciel fremstilling.

Beholderens maksimale tryk er, af sikkerhedshensyn, altid mindst 1 bar over kompressorens maksimale tryk. 10 bar kompressorer har f. eks. en trykluftbeholder, der er konstrueret for 11 bar. Sikkerhedsventilen er justeret for 11 bar.

Nedenstående tabel viser størrelserne af trykluftbeholdere , der kan leveres til forskellige driftstryk:

Trykluftbeholder Volumen [l]	Driftstryk op til		
	11 [bar]	16 [bar]	36 [bar]
18	•		
30	•		
50	•	•	
80	•		
150	•	•	•
250	•	•	•
350	•	•	•
500	•	•	•
750	•	•	•
1000	•	•	•
1500	•	•	•
2000	•	•	•
3000	•	•	•
5000	•	•	•

Bestemmelse af trykluftanlæggets størrelse

8.3.3 Volumener af trykluftbeholdere for kompressorer

Det optimale volumen for en given kompressor kan beregnes mere nøjagtigt ved hjælp af nedenstående formel.

Formlen er ideel, når der er planlagt lange ubelastede driftsperioder som muligt under intermitterende drift. Rørnettets volumen kan indgå som en del af beholdervolumenet.

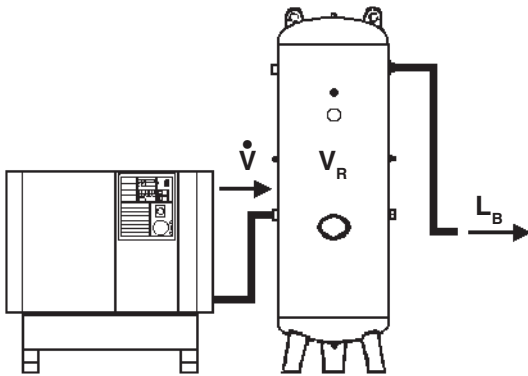


Fig. 8.5 :
Kompressor og trykluftbeholder

$$V_R = \frac{\dot{V} \times 60 \times [\frac{L_B}{\dot{V}} - (\frac{L_B}{\dot{V}})^2]}{AI \times (p_{max} - p_{min})}$$

- V_R = Trykluftbeholderens volumen [m³]
- \dot{V} = Kompressorens FAL ydelse [m³/min]
- L_B = Krævet FAL [m³/min]
- AI = Tilladte start/stop /h [1/h]
(Se kapitel 8.4.3)
- p_{max} = Kompressorens stoptryk [bar_o]
- p_{min} = Kompressorens starttryk [bar_o]

Selvom der er taget højde for alle faktorer, er det tilrådeligt, at kontrollere de tilladte stop/start intervaller/h for kompressorens motor.

En kompressor med lille beholder-volumen V_R starter og stopper hyppigere. Dette er en belastning for motoren. I modsætning til et stort beholder-volumen V_R og en jævn konstant ydelse, hvor kompressorens motor starter færre gange og derved opnår en længere levetid.

Simpel formel for bestemmelsen af en trykluftbeholders størrelse

Stempelkompressor	Skruekompressor
$V_R = \frac{Q \times 15}{AI \times \Delta p}$	$V_R = \frac{Q \times 5}{AI \times \Delta p}$

- V_R = Trykluftbeholderens volumen [m³]
- Q = Krævet FAL [m³/min]
- 15 eller 5 = Konstant faktor
- AI = Tilladte start/stop /h [1/h]
(Se kapitel 8.4.3)
- Δp = Trykdifferens IND/UD

8.4 Kompressor cyklus intervaller

Cyklus intervallet er en væsentlig faktor i et trykluftsystem. For en bedømmelse af trykluftbeholderens størrelse i forhold til FAL og det reelle tryklufforbrug, er det nødvendigt først at beregne cyklus intervallet. Dette gøres ved at beregne kompressorens belastningstid t_R og kompressorens aflastningstid t_I , summen heraf giver cyklus intervallet.

8.4.1 Kompressor aflastningstid

Under kompressorens aflastningstid t_I dækkes tryklufforbruget ved hjælp af den i trykluftbeholderen lagrede luft. Trykket i beholderen falder fra stoptrykket p_{\max} til starttrykket p_{\min} . I det mellemliggende tidsrum leverer kompressoren ingen trykluft.

Følgende formel anvendes til beregning af kompressorens aflastningstid t_I :

$$t_I = \frac{V_R \times (p_{\max} - p_{\min})}{L_B}$$

t_I	=	Kompressorens aflastningstid	[min]
V_R	=	Trykluftbeholderens volumen	[l]
L_B	=	Krævet FAL	[l/min]
p_{\max}	=	Kompressorens aflastningstryk	[bar _o]
p_{\min}	=	Kompressorens belastningstryk	[bar _o]

8.4.2 Kompressor belastningstid

Under belastningstiden kompenserer kompressoren for tryklufftabet i beholderen. Samtidig dækkes det øjeblikkelige tryklufforbrug. Ydelsen \dot{V} er større end det øjeblikkelige forbrug L_B . Trykket i beholderen stiger igen til p_{\max} .

Følgende formel anvendes til beregning af kompressorens belastningstid t_R :

$$t_R = \frac{V_R \times (p_{\max} - p_{\min})}{(\dot{V} - L_B)}$$

t_R	=	Kompressorens belastningstid	[min]
V_R	=	Trykluftbeholderens volumen	[l]
L_B	=	Krævet FAL	[l/min]
\dot{V}	=	Kompressorens FAL	[l/min]
p_{\max}	=	Kompressorens aflastningstryk	[bar _o]
p_{\min}	=	Kompressorens belastningstryk	[bar _o]

Bestemmelse af trykluftanlæggets størrelse

8.4.3 Antal af motorstarter

Det maksimalt tilladte antal af motorstarter/h, afhænger af drivmotorens størrelse. Motoren kan beskadiges, når det tilladte startantal/h overskrides

For beregning af det forventede antal motorstart cyklusser **A** for kompressoren, lægges kompressorens belastningstid t_R og aflastningstid t_I sammen, og resultatet divideres med referencetiden (normalt 60 min).

Trykluftbeholderen skal være større, når det maksimale antal af cyklusser **AI** overskrides.

En anden mulighed er en forøgelse af stop/start differensen ($p_{\max} - p_{\min}$).

$$A = \frac{60}{t_I + t_R}$$

A = Antal cyklusser [1/h]

t_R = Kompressor belastningstid [min]

t_I = Kompressor aflastningstid [min]

Nedenstående tabel angiver antallet af tilladte elmotor start/stop cyklusser/h afhængigt af motorenes effekt.

Motoreffekt [kW]	Tilladte cyklusser/h AI [1/h]
4 - 7,5	30
11 - 22	25
30 - 55	20
65 - 90	15
110 - 160	10
200 - 250	5

8.5 Eksempler på kompressor arrangementer

8.5.1 Beregningseksempler på stempelkompressorer

I kapitel 7.2.5 blev den krævede FAL på $L_B = 2035 \text{ l/min}$ fastlagt for et antal forbrugere. Det højest nødvendige arbejdstryk i dette eksempel er 6 bar_o . For dette eksempel dimensioneres en stempelkompressor.

8.5.1.1 Bestemmelse af maksimaltrykket p_{max}

Det er nu nødvendigt at bestemme det maksimale tryk p_{max} for trykluftanlægget. Med arbejdstrykket for udstyret som udgangspunkt, skal alle komponenter i trykluftanlægget indgå i overvejelserne:



Fig. 8.6 :
Trykluftanlæg med stempelkompressor, trykluft-
beholder, trykluft køletørrer og et filtersystem

– Maksimalt arbejdstryk i anlægget		6 bar_o
– Trykluft røret	Tryktab	$0,1 \text{ bar}$
– Filtre	Tryktab	$0,6 \text{ bar}$
– Trykluft køletørrer	Tryktab	$0,2 \text{ bar}$

Minimumtryk i beholder $6,9 \text{ bar}_o$

Starttrykket p_{min} skal altid ligge over dette tryk.

– Cyklus differens af stempelkompressorer		ca. 2 bar

Stoptrykket p_{max} er mindst **$8,9 \text{ bar}_p$**

Valgt kompressor maksimaltryk 10 bar_o
(Der samtidigt er kompressorens stoptryk)

Bestemmelse af trykluftanlæggets størrelse

8.5.1.2 Bestemmelse af kompressorstørrelse

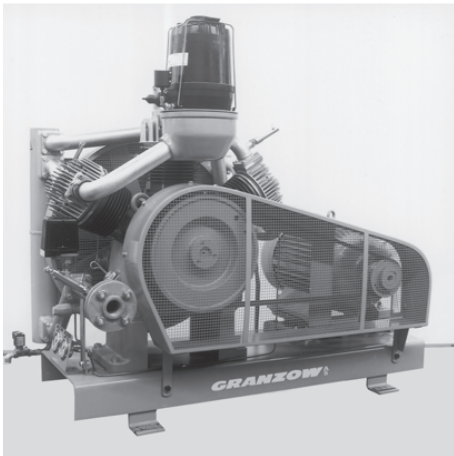


Fig. 8.7 :
Stempelkompressor

Stempelkompressorer konstrueres med reserver der ligger på ca.40 %. Reserverne er baseret på erfaringer, for derigennem at give en mulighed for udvidelse af anlægget og anvende kompressoren for intermitterende drift, der giver mindre slitage.

Den ideelle driftstid DT for en stempelkompressor ligger omkring 60 %. Stempelkompressorer er konstrueret for 100% DT = ved kontinuerlig drift. Når den ideelle kompressorstørrelse beregnes, betyder det, at den krævede $FAL = L_B$ skal divideres med 0.6 for at opnå den minimale $FAL \dot{V}_{min}$ fra stempel-kompressoren.

$$\begin{aligned}\dot{V}_{min} &= L_B / 0,6 \\ \dot{V}_{min} &= 2035 / 0,6 \\ \dot{V}_{min} &= 3392 \text{ l/min}\end{aligned}$$

Valget bliver:

Stempelkompressor

Maks. tryk p_{max} : 10 bar

FAL \dot{V} : 3350 l/min

Motoreffekt : 30 kW \Rightarrow AI = 20

8.5.1.3 Volumen af kompressor trykluftbeholder

Trykluftbeholderens volumen bør vælges i. h.t. kompressorydelse **FAL**; **lig med** trykluftbeholder volumen V_R ; under hensyntagen til det passende valg fra standard beholderserien.

$$\dot{V} = 3350 \text{ l/min} \Rightarrow V_R = 3000 \text{ l}$$

Bestemmelse af trykluftanlæggets størrelse

8.5.1.4 Kompressor cyklus interval

Efter bestemmelse af trykluftbeholderens volumen, er det nødvendigt at bestemme kompressorens be- og aflastningstider for kontrol af motorens start/stop cyklusser **C**.

Følgende formel anvendes for bestemmelse af aflastningstiden t_l :

$$\begin{aligned}V_R &= 3000 \text{ l} \\p_{\max} &= 10 \text{ bar}_o \\p_{\min} &= 8 \text{ bar}_o \\L_B &= 2035 \text{ l/min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_l &= \frac{V_R \times (p_{\max} - p_{\min})}{L_B} \\t_l &= \frac{3000 \times (10 - 8)}{2035} \\t_l &= 2,95 \text{ min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_l &= \text{Kompressor aflastningstid} && [\text{min}] \\V_R &= \text{Trykluftbeholder volumen} && [\text{l}] \\L_B &= \text{Krævet FAL} && [\text{l/min}] \\p_{\max} &= \text{Kompressor stoptryk} && [\text{bar}_o] \\p_{\min} &= \text{Kompressor starttryk} && [\text{bar}_o]\end{aligned}$$

Følgende formel anvendes for beregning af kompressorens belastningstid t_R :

$$\begin{aligned}V_R &= 3000 \text{ l} \\p_{\max} &= 10 \text{ bar}_o \\p_{\min} &= 8 \text{ bar}_o \\\dot{V} &= 3650 \text{ l/min} \\L_B &= 2035 \text{ l/min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_R &= \frac{V_R \times (p_{\max} - p_{\min})}{(\dot{V} - L_B)} \\t_R &= \frac{3000 \times (10 - 8)}{(3650 - 2035)} \\t_R &= 4,56 \text{ min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_R &= \text{Kompressor belastningstid} && [\text{min}] \\V_R &= \text{Trykluftbeholder volumen} && [\text{l}] \\L_B &= \text{Krævet FAL} && [\text{l/min}] \\\dot{V} &= \text{Kompressor FAL} && [\text{l/min}] \\p_{\max} &= \text{Kompressor stoptryk} && [\text{bar}_o] \\p_{\min} &= \text{Kompressor starttryk} && [\text{bar}_o]\end{aligned}$$

Bestemmelse af trykluftanlæggets størrelse

8.5.1.5 Kompressorens motor startcyklus

På grundlag af kompressorens belastnings- aflastningstider, beregnes motorens startcyklus og sammenlignes med det tilladte tal AI .

$$t_l = 2,95 \text{ min}$$

$$t_R = 4,56 \text{ min}$$

$$\text{Motor effekt } 22 \text{ kW} \Rightarrow AI = 25$$

$$C = \frac{60}{t_l + t_R}$$
$$C = \frac{60}{2,95 + 4,56}$$
$$C = 8$$

$$C = \text{Cyklusser} \quad [1/h]$$

$$t_R = \text{Kompressor belastet tid} \quad [min]$$

$$t_l = \text{Kompressor aflastet (stoppet) tid} \quad [min]$$

Ca. 8 starter/h ligger sikkert under tallet for en 30 kW motor ($AI = 20$). Trykluftbeholderen har en god størrelse. Den kunne endda være noget mindre på grund af den store reserve af motor startcyklusser.

Bemærk

Hvis det nøjagtige tryklufforbrug ikke er angivet, kan 50% af kompressorens FAL ydelse anses som forbrug ved beregning af motorens startcyklusser. I dette tilfælde vil kompressorens belastede og stoppede tider være ens. Det heraf følgende resultat er den maksimale cyklus.

Bestemmelse af trykluftanlæggets størrelse

8.5.2 Beregningseksempler for skruekompressorer

I kapitel 7.2.5 blev den krævede FAL på $L_B = 2,04 \text{ m}^3/\text{min}$ fastlagt for et antal forbrugere. Det krævede maksimale arbejdstryk i dette eksempel er 6 bar_o . En skruekompressor fastlægges til dette formål.

8.5.2.1 Eksempel for beregning af maksimal trykket p_{\max}



Fig. 8.8 :
Kompressoranlæg med skruekompressor trykluftbeholder, trykluft køletørrer og filter system

Det maksimale arbejdstryk p_{\max} for trykluftanlægget skal nu bestemmes. Foruden arbejdstrykket på det tilsluttede pneumatiske udstyr, skal der tages hensyn til alle komponenter, der indgår i trykluftanlægget:

– Maksimale arbejdstryk i anlægget		6 bar_o
– Rørnettet	Tryktab	$0,1 \text{ bar}$
– Filtre	Tryktab	$0,6 \text{ bar}$
– Trykluft køletørrer	Tryktab	$0,2 \text{ bar}$

Minimalt beholdertryk		$6,9 \text{ bar}_o$

Starttrykket p_{\min} skal altid ligge over dette tryk.

– Cyklus differens af skruekompressorer		1 bar
---	--	-----------------

Aflastningstrykket p_{\max} er mindst **$7,9 \text{ bar}_o$**

Valgt maksimalt kompressortryk (Stoptryk for kompressoren) 8 bar_o

8.5.2.2 Bestemmelse af kompressorstørrelse

Den ideelle driftstid DT for en skruekompressor er 100 %. Det betyder, at den krævede FAL L_B er lig med den mindste ydelse \dot{V}_{\min} af kompressoren.



Fig. 8.9 :
Skruekompressor

$$L_B = 2,04 \text{ m}^3/\text{min} = \dot{V}_{\min} = \text{ca. } 2 \text{ m}^3/\text{min}$$

Valget er:

Skruekompressor

Maksimalt tryk	p_{\max}	:	8 bar
FAL	\dot{V}	:	$2,42 \text{ m}^3/\text{min}$
Motoreffekt		:	$15 \text{ kW} \quad \triangleright \quad \text{AI} = 25$

Bestemmelse af trykluftanlæggets størrelse

8.5.2.3 Dimensionering af trykluftbeholderen

Volumenet for en trykluftbeholder til skruekompressor beregnes ved hjælp af nedenstående formel. Anvendelse af en standard trykluftbeholder bør tages med i overvejelserne.

$$\dot{V} = 2,42 \quad \text{m}^3/\text{min}$$

$$L_B = 2,04 \quad \text{m}^3/\text{min}$$

$$L_B/\dot{V} = 0,843$$

$$Al = 25 \quad 1/h$$

$$p_{\max} = 9 \quad \text{bar}_o$$

$$p_{\min} = 8 \quad \text{bar}_o$$

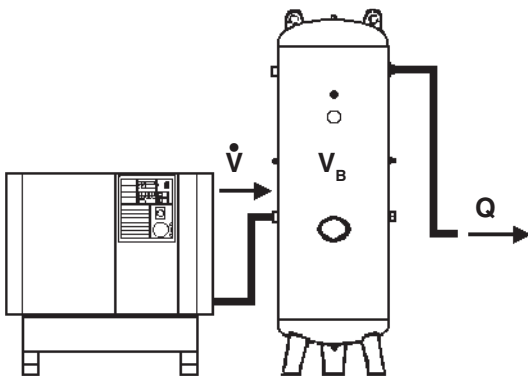


Fig. 8.10 :
Kompressor og trykluftbeholder

$$V_R = \frac{\dot{V} \times 60 \times [L_B/\dot{V} - (L_B/\dot{V})^2]}{Al \times (p_{\max} - p_{\min})}$$

$$V_R = \frac{2,42 \times 60 \times [0,843 - 0,843^2]}{25 \times (9 - 8)}$$

$$V_R = 0,77 \text{ m}^3$$

Valgt beholdervolumen:

$$V_R = 0,75 \text{ m}^3 = 750 \text{ l}$$

$$V_R = \text{Trykluftbeholder volumen} \quad [\text{m}^3]$$

$$\dot{V} = \text{FAL af alle kompressorer} \quad [\text{m}^3/\text{min}]$$

$$L_B = \text{Krævet FAL} \quad [\text{m}^3/\text{min}]$$

$$Al = \text{Tilladte motor cyklusser} \quad [1/h]$$

$$p_{\max} = \text{Kompressor aflasttryk} \quad [\text{bar}_o]$$

$$p_{\min} = \text{Kompressor belasttryk} \quad [\text{bar}_o]$$

Trykluftbeholderens volumen kan også bestemmes på grundlag af kompressorens FAL i forhold til trykluft-beholder $V_R = \dot{V}/3$.

$$\dot{V} = 2,46 \quad \text{m}^3/\text{min} \Rightarrow V_R = 0,81 \text{ m}^3$$

8.5.3 Kompressorvalg - Supplerende oplysninger

Hvis der på en virksomhed forventes svingende tryklufforbrug og der planlægges senere udvidelser, kræves en kompressor, der er konstrueret for stærkt intermitterende drift. En stempelkompressor vil være det ideelle valg. Hvis den konstante FAL ydelse kan dækkes af en kompressor, så vil en skruekompressor sikkert være bedre egnet.

Begge kompressorsystemer kan leveres med fuld lyddæmpning, færdigmonteret for tilslutning til el- og trykluftrørnet.

Valget af det rette trykluftanlæg bør ikke være afhængigt af anskaffelsesprisen, for den er hurtigt amortiseret når der spares driftsomkostninger. De løbende driftsomkostninger består ikke alene af energiomkostningerne ved fremstillingen af tryklufften, men også i høj grad af omkostningerne ved tomgangskørsel.

Stempelkompressorer kører med intermitterende drift. De kører ikke i tomgang. Skruekompressorer, skal på grund af deres lille trykdifferens og relativt lille volumen af tryklufftbeholderen, styres automatisk om til tomgangsdrift, så man undgår for mange starter af motoren.

Med ARS styringen tilstræbes en intermitterende drift med de mindst mulige tomgangsperioder.

Bestemmelse af trykluftanlæggets størrelse

8.6 Særlige bemærkninger om kompressor dimensionering

8.6.1 Ydelse og arbejdsdruk



Fig. 8.11 :
Slag-momentnøgle med trykluftdrev

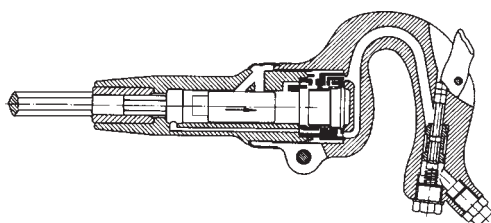


Fig. 8.12 :
Ventilløs tryklufthammer

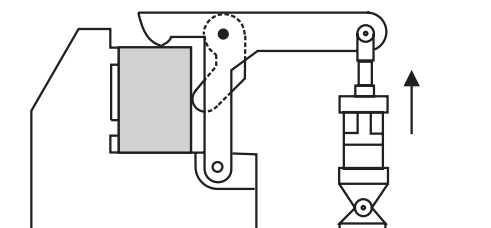


Fig. 8.13 :
Pneumatisk klemmeanordning

Arbejdsstrykket for trykluftforbrugende udstyr bør altid overholdes. Et trykluftforbrugende udstyrs ydelse, falder over-proportionalt, hvis netværkstrykket p_N falder under udstyrets arbejdsdruk.

Nedenstående tabel viser eksempler på ydelsens afhængighed af arbejdsstrykket, for nogle alment forekommende trykluft værktøjer og hamre:

Effektivt tryk [bar] ved tilslutningen	Relativ ydelse [%]		Relativt trykluftforbrug [%]	
	Værktøj	Borehammer	Værktøj	Borehammer
7	120	130	115	120
6	100	100	100	100
5	77	77	83	77
4	55	53	64	56

Eksempel

Følgerne af et lavt nettryk kan demonstreres tydeligt med en trykluftcylinder.

En klemmeanordnings-cylinder bliver ikke forsynet med det rette arbejdsdruk. Klemkraften af cylinderen falder og emnet fastholdes ikke tilstrækkeligt sikkert.

Emnet løsner sig under bearbejdning med en værktøjsmaskine. Dette kan føre til ødelæggelse af værktøjet og/eller emnet og i værste fald til legemsbeskadigelse.

9. Det pneumatiske system

9.1 Kompressorens trykluftbeholder

Trykluftbeholdere dimensioneres, så de svarer til kompressorens ydelse, kompressorstyringen og trykluftforbruget. Trykluftbeholdere indskudt i trykluftrørnettet varetager forskellige vigtige opgaver.

9.1.1 Oplagring af trykluft

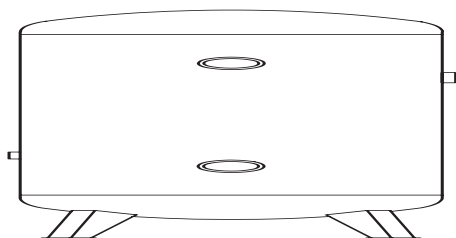


Fig. 9.1 :
Liggende trykluftbeholder

Kompressoren opbygger et lagervolumen i trykluftbeholderen. Derved kan trykluftforbruget i et stykke tid, dækkes fra dette lagervolumen, uden at kompressoren samtidigt er i drift. Den henstår klar til drift, men forbruger ingen energi. Desuden udlignes et svingende trykluftforbrug i rørnettet samt dækning af spidsbelastninger. Motoren starter sjældnere og motorens slitage formindskes.

Under visse omstændigheder kan det være nødvendigt at anvende flere trykluftbeholdere, for at kunne opbygge det nødvendige lagervolumen. Meget store trykluftrørnet, råder i reglen over et tilstrækkeligt lagervolumen. I sådanne tilfælde vil det være muligt at vælge mindre trykluftbeholdere.

9.1.2 Pulsationsdæmpning

Stempelkompressorer fremkalder en pulserende luftstrøm på grund af deres specielle virkemåde. Disse tryk-svingninger har en negativ indflydelse på funktionen af en del trykluftforbrugende udstyr. Især processomstyrings- og måleudstyr reagerer med fejl ved tilførsel af en pulserende luftstrøm. Trykluftbeholderen anvendes til udligning af disse tryk-svingninger.

Ved skruekompressorer bortfalder pulsation i de fleste tilfælde, da kompressorerne afleverer en næsten jævn volumenstrøm.

BEMÆRK !

De i kompendiet anvendte regler er opbygget efter producentlandets regler. I Danmark gælder for tiden (2002) kun AT bekendtgørelse Nr 743 af 23.09.1999. Iflg. AT gælder derudover de i producentens betjeningsvejledningen angivne bestemmelser.

9.1.3 Opsamling af kondensat

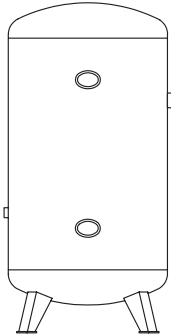


Fig. 9.2 :
Stående trykluftbeholder

Under luftens komprimering udskilles der vanddråber (Kondensat) fra den i luften indeholdte vanddamp. For det meste medrives dette vand af luftens volumenstrøm, og ender i trykluftbeholderen. Der dvæler luftstrømmen. På grund af beholderens store overflade, afgives der varme til omgivelserne og tryklufften køles ned af de koldere omgivelser. Derved udskilles den største del af kondensatet på beholderens vægge. På grund af tyngdekraften samler kondensatet sig i bunden af beholderen og bortledes gennem en passende kondensatudskiller.

Trykluftbeholdere, der ikke tømmes regelmæssigt, er udsat for korrosion fra kondensatet. Ønskes en beskyttelse anvendes fuldt galvaniserede beholdere. Hvis beholderens aftapning sker regelmæssigt, tilpasset de lokale vejrforhold, er en galvanisering dog ikke ubetinget nødvendig. Det vil imidlertid være en god løsning, såfremt kondensatet indeholder større koncentrationer af aggressive medier.

9.1.4 Trykluftbeholdere under drift

Trykluftbeholdere må kun anvendes for vedvarende drift. Hvis de anvendes i forbindelse med kompressorer med intermitterende- eller tomgangsdrift. Tryksvingningsområdet Δp må ikke overskride 20 % af det maksimale driftstryk (Maks. kompressortryk 10 bar, $\Delta p = 2$ bar). Hvis tryksvingningerne er større, kan der med tiden opstå træthedsbrud i svejse-sømmene. I modsat fald skal trykluftbeholderen konstrueres for den svingende belastning.

9.1.5 Opstilling af trykluftbeholdere

Trykluftbeholderen bør opstilles på det køligste sted indendørs hvis det er muligt. Derved udskilles mere kondensat, der ikke kommer med ud i trykluftrørnettet og trykluft efterbehandlingsudstyret.

Trykluftbeholdere bør opstilles således, at de er let tilgængelige ved regelmæssige afprøvninger. Fabrikantens navneplade skal være nemt aflæselig.

De skal endvidere opstilles på et egnet fundament, med rigelig plads for inspektionen. Der må endvidere tages hensyn til at fundamentsbelastningen stiger, når beholderen under afprøvningen fyldes med vand.

Trykluftbeholdere skal desuden opstilles således, at de ikke indebærer fare for medarbejdere eller tredie personer, og krav om beskyttelsesområder og -afstande skal overholdes.

Trykluftbeholderen og dennes armaturer skal være beskyttet mod mekanisk overlast (F. eks. motorkøretøjer), således at skader med farlig indvirkning på medarbejdere, tredie personer eller udstyret, ikke kan forventes at forekomme.

Det pneumatiske system

9.1.6 Sikkerhedsregler for trykluftbeholdere

For trykluftbeholdere gælder Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 743 af 23. september 1999, fastlagte regler og bestemmelser. Disse er en del af lovbekendtgørelse nr. 497 af 29. juni 1998, som også er indeholdt i EU direktiv nr. 97/23. Da bestemmelserne er lovfæstede medfører dette brugerens pligt til at overholde bestemmelserne og altid selv holde sig orienteret om de nyeste bestemmelser og påbud i denne forbindelse.

Følgende uddrag af de gældende bestemmelser kræver særlig opmærksomhed:

9.1.6.1 Opdeling i afprøvningsgrupper

Iflg. det i ovenstående bekendtgørelses § 8 nævnte, skal alle trykluftbeholdere opdeles i afprøvningsklasser, der er opdelt i grupper.

(1) Trykluftbeholdere opdeles efter deres tilladelige driftsovertryk p i bar og rumindholdet af den trykbærende del i I i liter (Trykindholdsproduktet $p \times I$). Ved flere fra hinanden adskilte trykbeholdere, skal produktet for hver beholder angives separat:

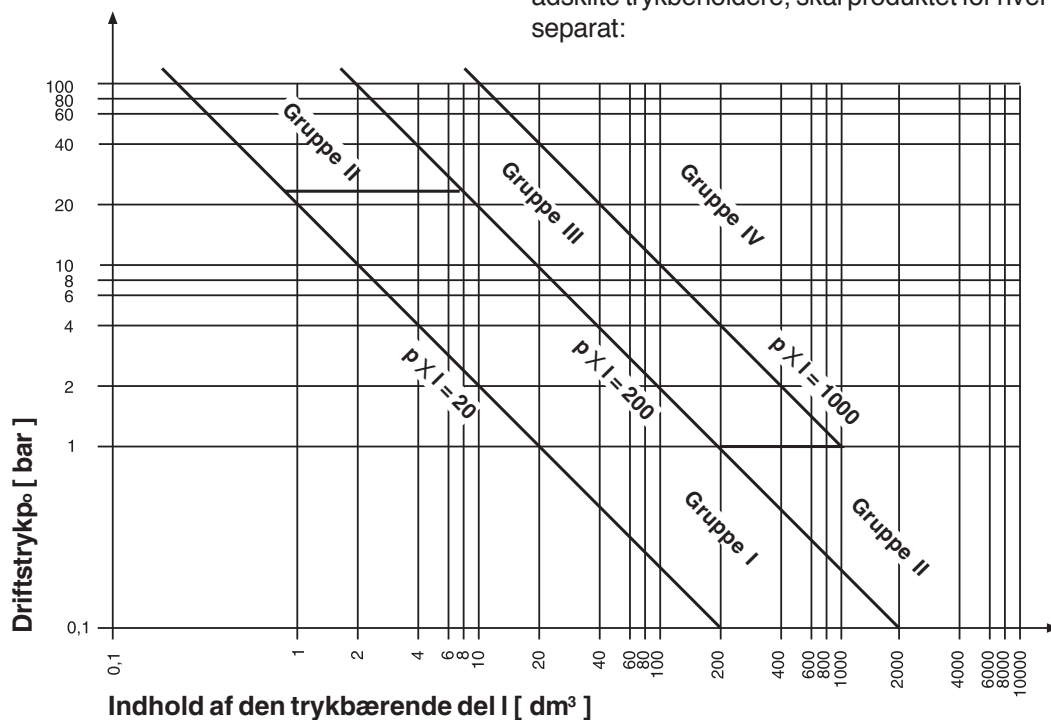


Fig. 9.3 :
Diagram for gruppeinddeling af trykluftbeholdere

Gruppe I : Trykluftbeholdere med et maksimalt overtryk p på ikke mere end 25 bar og et trykindholdsprodukt $p \times I$ på ikke mere end 200.

Gruppe III : Trykluftbeholdere med et maksimalt overtryk p på ikke mere end 1 bar og et trykindholdsprodukt $p \times I$ der er mere end 200 men ikke over 1000 ($p > 1$ bar og $200 < p \times I \leq 1000$).

Gruppe IV : Trykluftbeholdere med et maksimalt overtryk p på mere end 1 bar og et trykindholdsprodukt $p \times I$ der er mere end 1000. ($p > 1$ bar og $p \times I > 1000$).

9.1.6.2 Fremstilling af trykluftbeholdere

„Simple og uopfyrede trykluftbeholdere“ med et driftstryk på mellem 0,5 og 30 bar tryk, er trykindholdsproduktet $p \times l$ op til 10000, (Beholdere op til 750 l, 11 bar eller op til 500 l, 16 bar) og et cylindrisk svøb med to endebunde skal fremstilles i h.t. EU-Retningslinie 87/404 EEC. De er forsynet med CE-symbolet på beholderens navneplade. Beholderne kan derfor anvendes overalt i EF uden yderligere hensyntagen til nationale regler.

Trykluftbeholdere med et trykindholdsprodukt $p \times l$ over 10000, skal fremstilles efter de gældende regler i opstillingslandet.

9.1.6.3 Registrerings- og inspektionskrav

De i dette og de følgende afsnit inkl. 9.1.6.7 nævnte regler i uddrag, skal tilpasses de til enhver tid gældende love, regler og AT bekendtgørelser der omfatter trykbærende udstyr. Det er bl. a. i år 2002: 'at trykbærende udstyr og enheder kun må markedsføres og tages i brug, hvis mærkning og driftsinstruktion efter EU bilag I, punkt 3.3 og 3.4 er udfærdiget på dansk' (Uddrag AT BEK. 743/23.09.99 Stk. 5.1 og EU Dir. Nr.97/23/EF) Trykbærende anlæg skal anmeldes inden ibrugtagning, efter ombygning, væsentlig reparation eller flytning, til den lokale AT-tilsynskreds.

Den præliminære afprøvning har før aflevering fundet sted i forbindelse med den hydrostatiske afprøvning. Det er et led i seriefremstillingen. Beholdere, hvor der ikke forligger et seriemønster, skal afprøves individuelt af en hertil bemyndiget sagkyndig.

9.1.6.4 Ekspertter og sagkyndige personer som defineret i de herfor gældende danske AT-bestemmelser

Ekspertter iflg. EU direktivet er:

- Medarbejdere ansat ved AT
- Medarbejdere ansat ved offentlige materialeprøvningsinstitutioner

Sagkyndige er:

- personer der på grund af deres viden og gennem praktiske erfaringer garanterer, at afprøvningerne foretages i h.t. gældende forskrifter,
- som iøvrigt har en god teknisk og faglig uddannelse.
- har tilstrækkeligt kendskab til forskrifterne for den kontrol de udøver samt tilstrækkelig erfaring.
- har fornødne færdigheder i at udarbejde de attester og protokoller som viser, at kontrollerne er udført.
- har dokumentation for, på et statsligt eller af myndighederne godkendt kursus, på tilfredsstillende måde at have opnået de ovennævnte færdigheder.

Dokumentation herfor skal til enhver tid kunne forevises for de hertil bemyndigede offentlige myndigheder.

9.1.6.5 Inspektion af trykluftbeholdere

Inspektion af trykluftbeholdere både ved idriftsætning og periodiske eftersyn er underkastet dansk lov.

Afprøvning før idriftsætning

(1) En trykluftbeholder i **Gruppe III, IV og III**, må først tages i brug, efter at den sagkyndige har foretaget og attesteret en førstegangs afprøvning og dermed fundet beholderen i forskriftsmæssig stand.

(2) En trykluftbeholder af **Gruppe I**, når den skal anvendes for brændbare, ætsende eller giftige gasser, dampe eller væsker, såvel som **Gruppe II**, må først idriftsættes når,

1. producenten af beholderen har foretaget en trykafprøvning, der attesterer, at beholderen er fremstillet forskriftsmæssigt samt at resultatet af tryk-afprøvningen overholder de respektive krav, og

2. efter at en sagkyndig har foretaget en overtagelsesafprøvning, der attesterer, at de indenfor rammerne af denne prøve fastsatte krav er overholdt.

(3) Første gangs afprøvningen består af en forprøve, en konstruktionsprøve og en trykafprøvning. Overtagelsesprøven består af en egnethedsprøve, afprøvning af udstyret og afprøvning af opstillingen.

Periodiske inspektioner

(1) En trykluftbeholder i **Gruppe IV** og **III** skal inspiceres af AT-personale ved de i afsnit 4 nævnte intervaller.

(2) En trykluftbeholder i **Gruppe I** skal, hvis den anvendes for brændbare, ætsende eller giftige gasser, damp eller hører til **Gruppe II, III** og **IV** inspiceres ved periodiske intervaller, der fastsættes af brugeren. Det skal foretages på grundlag af driftserfaringer og det anvendte medium.

(3) Periodiske inspektioner består af indvendig inspektion og trykprøvning. Hvis beholderen opvarmes af ild, udstødsvarme eller elektrisk opvarmning skal inspektionen også omfatte den periodiske udvendige inspektion. Den udføres normalt når beholderen er i drift. Indvendige afprøvninger i h.t. det førnævnte, skal udføres eller erstattes med andre egnede afprøvninger. Det skal udføres såfremt den indvendige inspektion ikke kan gennemføres i det krævede omfang. De nævnte trykafprøvninger skal erstattes med ikke destruktive afprøvningsmetoder, når trykprøvning på grund af beholderens konstruktion ikke er muligt, eller på grund af driftsformen ikke er hensigtsmæssigt.

(4) Indvendige afprøvninger af trykluftbeholdere i **Gruppe IV** og **III** gennemføres hvert femte år. Trykafprøvninger hvert tiende år, og udvendige inspektioner hvert andet år. De ansvarlige myndigheder kan ændre disse tidsfrister og i enkelte tilfælde, at

1. forlænge dem, såfremt sikkerheden på anden måde er tilgodeset, eller
2. afkorte dem, såfremt beskyttelse af medarbejdere eller tredie personer måtte kræve dette.

(10) En trykluftbeholder i **Gruppe IV** eller **III** må kun anvendes efter udløbet af de periodiske inspektioners fastsatte tidsrum. Det gælder når afprøvningerne er foretaget tidsmæssigt korrekt indenfor det fastlagte tidsrum og den sagkyndige har attesteret, at beholderen overholder de stillede krav i afprøvningerne.

(11) Hvis den sagkyndige fastslår, at trykluftbeholderen ikke er i forskriftsmæssig stand, afgøres spørgsmålet om yderligere anvendelse efter ansøgning til det hermed bemyndigede AT.

9.1.6.6 Inspektionsmåder

De regelmæssige afprøvninger foretages af eksperter hhv. sagkyndige og omfatter:

Indvendig inspektion (hvert 5. år)

Beholderens forbindelse til det trykløse rørsystem afmonteres. Inspektionslemmen åbnes og beholderens indre afrenses omhyggeligt. Væggene skal være metallisk rene. Inspektøren skal inspicere beholderens indre og attestere, at den fortsat er brugelig.

Trykafprøvning (hvert 10. år)

Beholderens forbindelse til det trykløse rørsystem afmonteres. Alle armaturer afmonteres og åbningerne lukkes forsvarligt med rørpropper. Beholderen fyldes helt op med vand og håndpumpen for trykafprøvningen påmonteres. Beholderen sættes derefter med håndpumpen under tryk op til driftstrykket og kontrolleres for lækager af inspektøren.

9.1.6.7 Supplerende uddrag fra det danske AT's regler for trykluftbeholdere

Drift af trykluftbeholdere

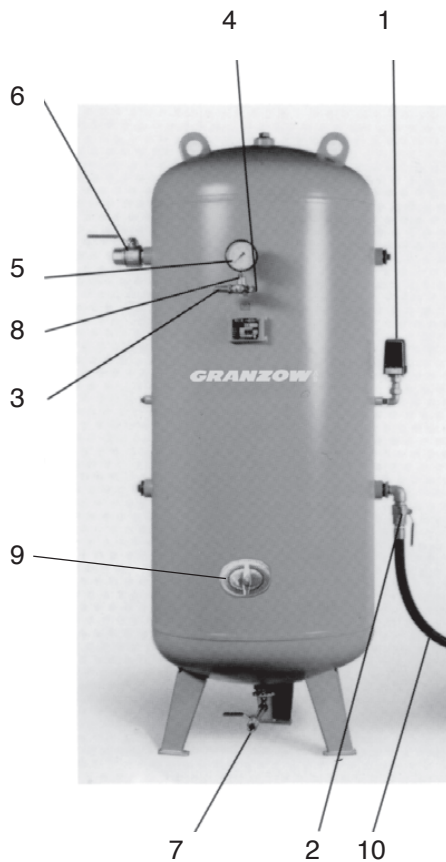
(1) Personer der har en trykluftbeholder i drift, skal holde den i driftsmæssig stand, anvende den korrekt og overvåge den. Desuden skal der udføres den nødvendige vedligeholdelse og service på rette tidspunkter og gennemføre nødvendige sikkerheds-foranstaltninger når disse påkræves.

Beviser for inspektioner og trykluftbeholderfortegnelse

(1) Trykluftbeholdere skal være forsynet med mærkning for den primære afprøvning.

(2) Personer der har en trykluftbeholder i **Gruppe IV** eller **III** i drift, skal føre en kontrolbog eller en kontroljournal, der opsummerer de periodiske inspektioner. Kontrolbogen eller journalen skal indeholde inspektionens attestation for den første afprøvning og overtagelsesinspektionen. Dette skal være sammen med de tilhørende dokumenter (Tegning, certifikat for materiale og varmebehandling).

9.1.7 Fittings anbragt på trykluft-beholdere



- 1 = Pressostat
- 2 = Kontraventil eller kuglehane
- 3 = Sikkerhedsventil
- 4 = Kontrolflange
- 5 = Manometer
- 6 = Kuglehane
- 7 = Kondensatdræn
- 8 = Armaturholder
- 9 = Inspektionshul
- 10 = Højtryksslange

Fig. 9.4:
Trykluftbeholder med fittings

Trykluftbeholderen er ikke "en nøgen stålbeholder". Den kræver en række armaturer, for at kunne bestride sine funktioner og yde den foreskrevne sikkerhed.

- Pressostaten.
Denne styrer kompressorens tryk.
- Kontraventil.
Der skal altid monteres en kontraventil i tilgangsledningen fra kompressoren til beholderen. Ved stempelkompressorer forhindrer ventilen tilbagestrømning af trykluft til kompressoren under driftsstop. Ved skruekompressorer indgår kontraventilen i styresystemet.
- Sikkerhedsventil.
Installationen af sikkerhedsventilen er et lovfæstet krav. Hvis beholdertrykket p_N (Rørnetstryk) stiger 10 % over det nominelle tryk, skal sikkerhedsventilen åbne og afblæse det overskydende tryk.
- Kontrolflange.
Til kontrolflange med dyseboring, sluttet et kalibreret manometer ved beholderens trykprøvning.
- Manometer.
Manometeret viser beholdertrykket.
- Kuglehane.
Kuglehanen afspærrer beholderen fra rørnettet eller kompressoren.
- Kondensatdræn.
I trykluftbeholderen udskilles kondensat. Derfor er det nødvendigt at indrette en tilslutning for en kondensatudlader.
- Inspektionshul.
Inspektionslemmen kan være udformet som en muffe eller et mandehul, hhv. håndhul med flange. Det anvendes til kontrol og rensning af beholderens indre. Mindstestørrelsen er lovfæstet.
- Højtryksslange.
Højtryksslangen forbinder beholderen med kompressoren. Den anvendes i stedet for et rør, så vibrationer fra kompressoren ikke overføres til trykluftrørnettet, samt for udligning af eventuelle dimensionsforskelle ved tilslutning til rørnettet.

Pressostaten, højtryksslangen og kontraventilen er ikke typiske beholderfittings. De anbringes dog af hensigtsmæssige årsager.

Det pneumatiske system

9.1.7.1 Sikkerhedsventilen

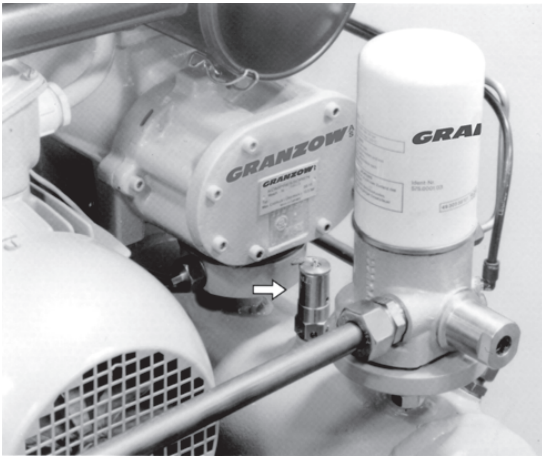


Fig. 9.5 :
Sikkerhedsventil på den kombinerede trykluft-oliebeholder af en med olieindsprøjtning kølet skruekompressor

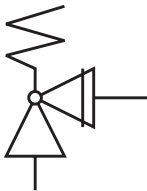


Fig. 9.6 :
Diagramsymbol for en sikkerhedsventil

Installationen af en sikkerhedsventil på en trykluftbeholder er lovfæstet.

Hvis beholdertrykket p_N (Rørnetstrykket) stiger til det maksimale beholdertryk (F. eks. det maksimale kompressortryk er 10 bar og beholdertrykket er 11 bar), skal sikkerhedsventilen åbne lidt.

Hvis trykket i rørnettet stiger til 1.1 gange af det nominelle tryk (D.v.s. beholdertryk 11 bar, sikkerhedsventil 12.1 bar), skal sikkerhedsventilen åbne fuldt, og afblæse overtrykket. Der skal tages hensyn til, at tværsnittet på sikkerhedsventilens afblæsningsåbning er stort nok til at kunne afblæse tryklufften fra alle tilsluttede kompressorer, så trykket i trykluftbeholderen ikke stiger.

Ved en senere udvidelse af trykluftrørnettet, og en deraf følgende udvidelse af kompressorantallet, kan det let glemmes, at sikkerhedsventilen skal fornyes, så den er i stand til at afblæse den samlede kompressorydelse. Sker dette ikke, vil trykket i trykluftbeholderen stige. I værste fald kan det føre til en eksplosion af trykluftbeholderen.

Sikkerheds afprøvning

Sikkerhedsventilen skal afprøves hver gang der sker en udvidelse af antallet af tilsluttede kompressorer.

Hovedledningens tilslutning til trykluftbeholderen skal lukkes. Pressostaterne skal 'luses' sammen, således at de ikke kan afbryde kompressorerne automatisk.

Trykket i beholderen vil da stige til sikkerhedsventilen blæser af. Beholdertrykket må så ikke være mere end 1.1 gange af grænseværdien (F.eks., beholdertryk 11 bar, sikkerhedsventil 12.1 bar). Sker dette, så er sikkerhedsventilen ikke tilstrækkeligt stor og skal udskiftes.

9.2 Tryklufførsystemet

En central tryklufforsyning kræver et rørledningsnet, der kan forsyne de enkelte forbrugere med trykluft. Til sikring af en pålidelig og driftsøkonomisk forsyning, må rørr nettet kunne opfylde forskellige forudsætninger:

- En tilstrækkelig volumenstrøm.
Alle til nettet sluttede forbrugere skal til enhver tid have den nødvendige forsyningsmængde.
- Det nødvendige arbejdstryk.
Hver tilsluttet forbruger skal altid forsynes med trykluft der har det nødvendige drifts- eller arbejdstryk..
- Trykluffens kvalitet.
Hver enkelt forbruger skal altid modtage trykluft med den rette kvalitet.
- Lavt tryktab.
Af driftsøkonomiske årsager skal tryktabet i rørr nettet være så lavt som muligt.
- Driftssikkerhed.
Såvidt muligt skal forsyningen være sikret i videst mulig omfang. Ved beskadigelser af rørledninger, reparationer og vedligeholdelsesarbejder, må hele rørr nettet ikke falde ud.
- Sikkerhedsregler.
De relevante sikkerhedsforskrifter skal altid følges, så ulykker undgås, såvel som deraf følgende eventuelle regreskrav.

9.2.1 Opbygningen af trykluft rørsystemet

Et rørledningsnet består af enkelte sektioner. På denne måde er det muligt at opbygge den ideelle forbindelse mellem kompressoren og forbrugerne.

9.2.1.1 Hovedledningen

Hovedledningen forbinder kompressoren med trykluft efterbehandlingsudstyret og trykluftbeholderen. Fordelingsledningerne er tilsluttet hovedledningen. Hovedledningen skal være dimensioneret så den nu og i nærmeste fremtid kan fordele kompressorens totale ydelse med mindst mulig tryktab.

Tryktabet Δp i hovedledningen bør ikke være mere end 0.04 bar.

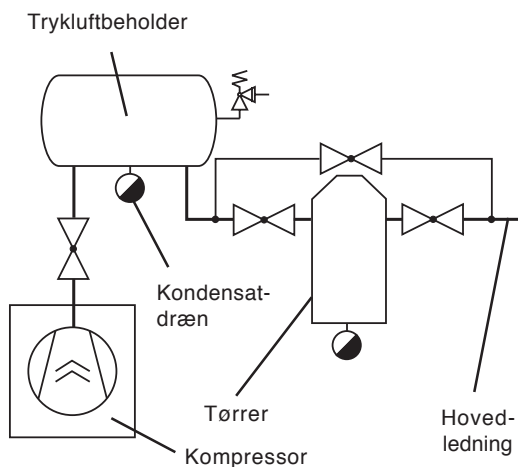


Fig. 9.7 :
Hovedledning for et trykluft rørsystem

9.2.1.2 Trykfordeling i et ringledningssystem

Fordelingsledningerne installeres gennem hele virksomheden og bringer tryklufften frem til forbrugeren. Den bør, hvor det er muligt, altid være udført som en ringledning. Derved øges driftsøkonomien og driftssikkerheden.

Tryktabene Δp i fordelingsledningerne bør ikke være over 0,03 bar.

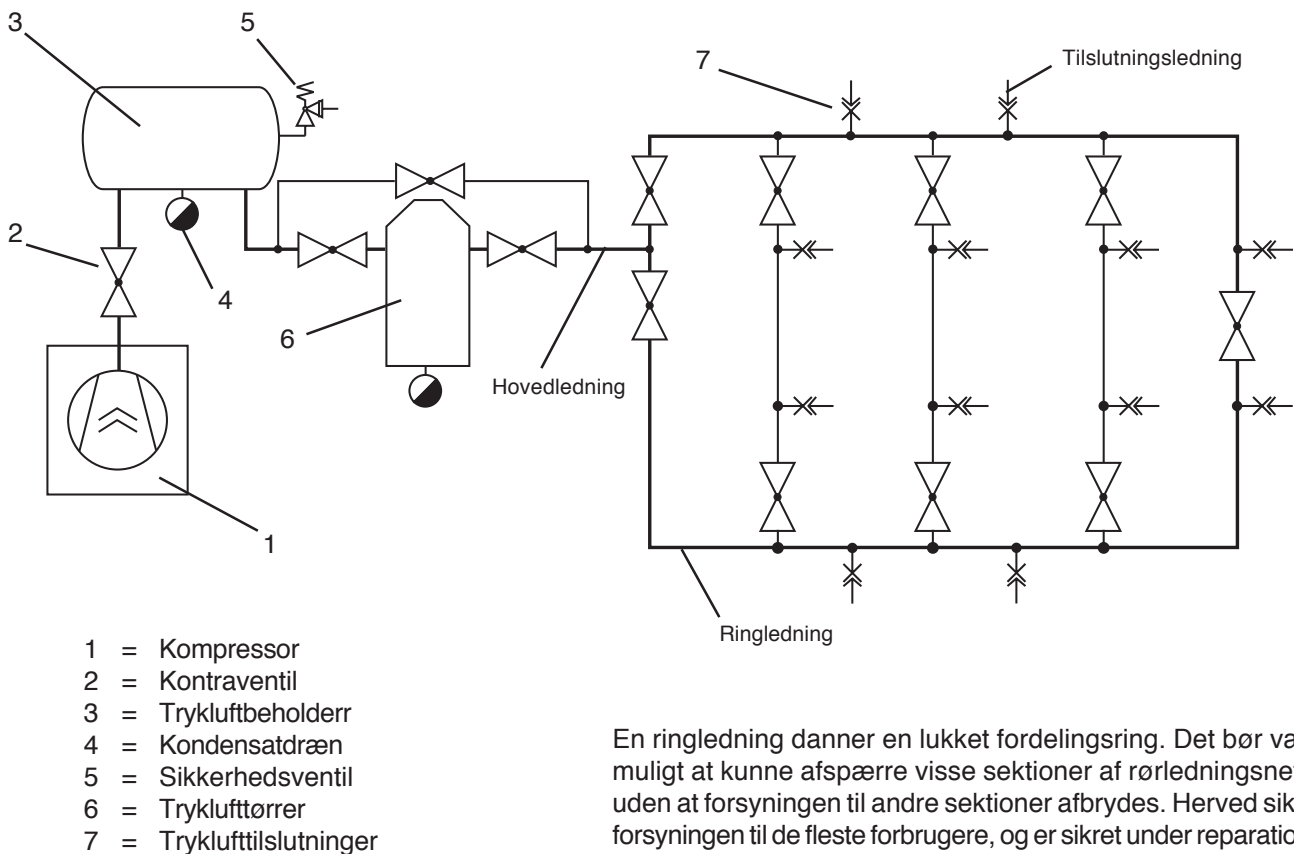


Fig. 9.8 :
Tryklufftforsyning med en ringledning

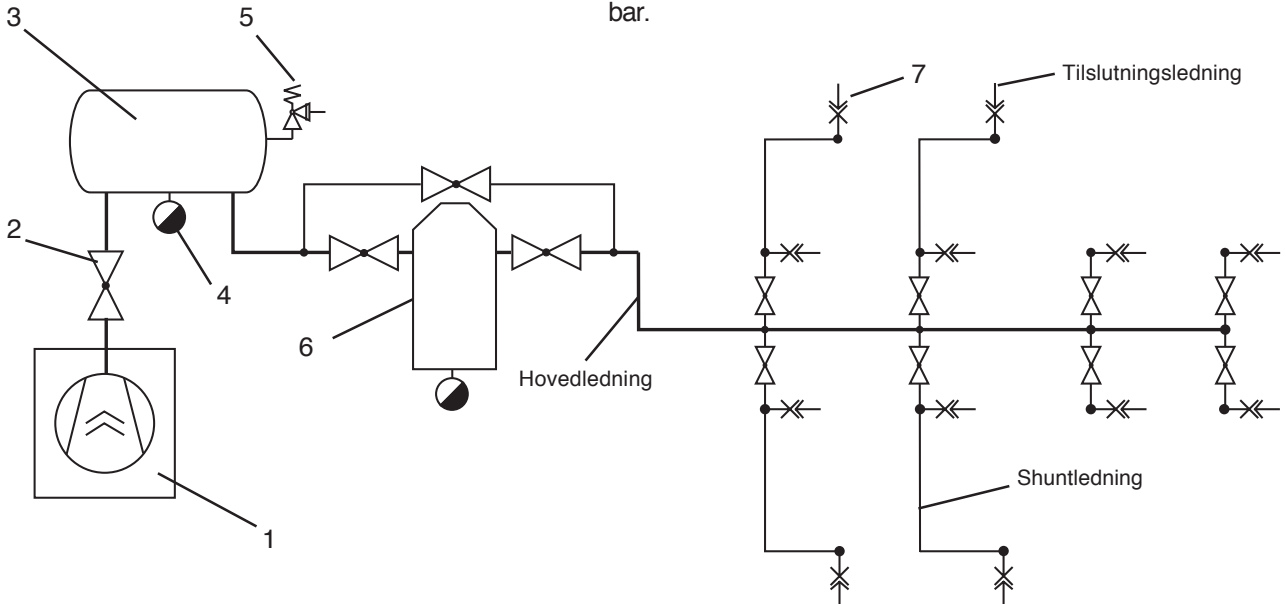
En ringledning danner en lukket fordelingsring. Det bør være muligt at kunne afspærre visse sektioner af rørledningsnettet uden at forsyningen til andre sektioner afbrydes. Herved sikres forsyningen til de fleste forbrugere, og er sikret under reparations-, vedligeholdelses- og udvidelsesarbejder.

Ved forsyningen gennem en ringledning strømmer tryklufften en kortere vej end ved et stik- eller shuntledningssystem. Dette medfører et lavere tryktab Δp . Ved dimensioneringen af en ringledning kan der regnes med halvdelen af den strømnings-tekniske rørlængde og den halve volumenstrøm.

9.2.1.3 Trykluffordelingen i et stub (shunt) rørsystem

Fordelingsledningerne installeres gennem hele virksomheden og bringer tryklufften frem til forbrugeren. De kan også udformes som en stub (stik eller shunt) ledning.

Tryktabene Δp i fordelingsledningerne bør ikke være over 0,03 bar.



- 1 = Skruekompressor
- 2 = Kontraventil
- 3 = Trykluffbeholder
- 4 = Kondensatedræn
- 5 = Sikkerhedsventil
- 6 = Tryklufftørrer
- 7 = Tryklufftilslutninger

Fig. 9.9 :
Trykluffforsyning med shuntledning

Stub- eller stikledningerne afgrenes fra større fordelingsledninger eller hovedledningen. Afsides forbrugere kan forsynes gennem stikledninger. Det er også muligt at indrette hele trykluffforsyningen ved hjælp af stikledninger. Det medfører den fordel, at der bruges mindre rørmateriale. Til gengæld må der regnes med anvendelse af større rørdimensioner, og der må ofte påregnes fremkomst af større tryktab.

Stik (shunt) ledninger skal altid være forsynet med en afspæringsventil, så de kan afspærres fra nettet. Det letter reparations- og vedligeholdelsesarbejder.

9.2.1.4 Tilslutningsledningen

Tilslutningsledningerne udgår fra fordelersledningerne. De forsyner forbrugsudstyr med tryklufft. Da forbrugeren arbejder med forskellige tryk, bør der indskydes en trykluffserviceenhed med reduktionsventil foran forbrugsstedet. Med reduktionsventilen indstilles det nøjagtige forbrugstryk. Serviceenheder med filter, udskiller og smøreapparat kan i reglen undværes, når tryklufften forud er efterbehandlet.

Tryktabet Δp i tilslutningledningerne bør ikke være højere end 0,03 bar.

Bemærk

For industrielle formål anbefales rørdimensionen DN 25 (1"). Denne rørdimension koster ikke væsentligt mere end mindre rør dimensioner, men giver altid en sikker trykluffforsyning. Forbrugerudstyr med forbrug op til 1800 l/min kan holdes forsynet ved ledningslængder op til 10 m uden nævneværdigt tryktab.

9.2.1.5 Tilslutning til en samleledning med flere systemer

Ved tilslutning af flere kompressorer til en samleledning skal der tages hensyn til følgende punkter.

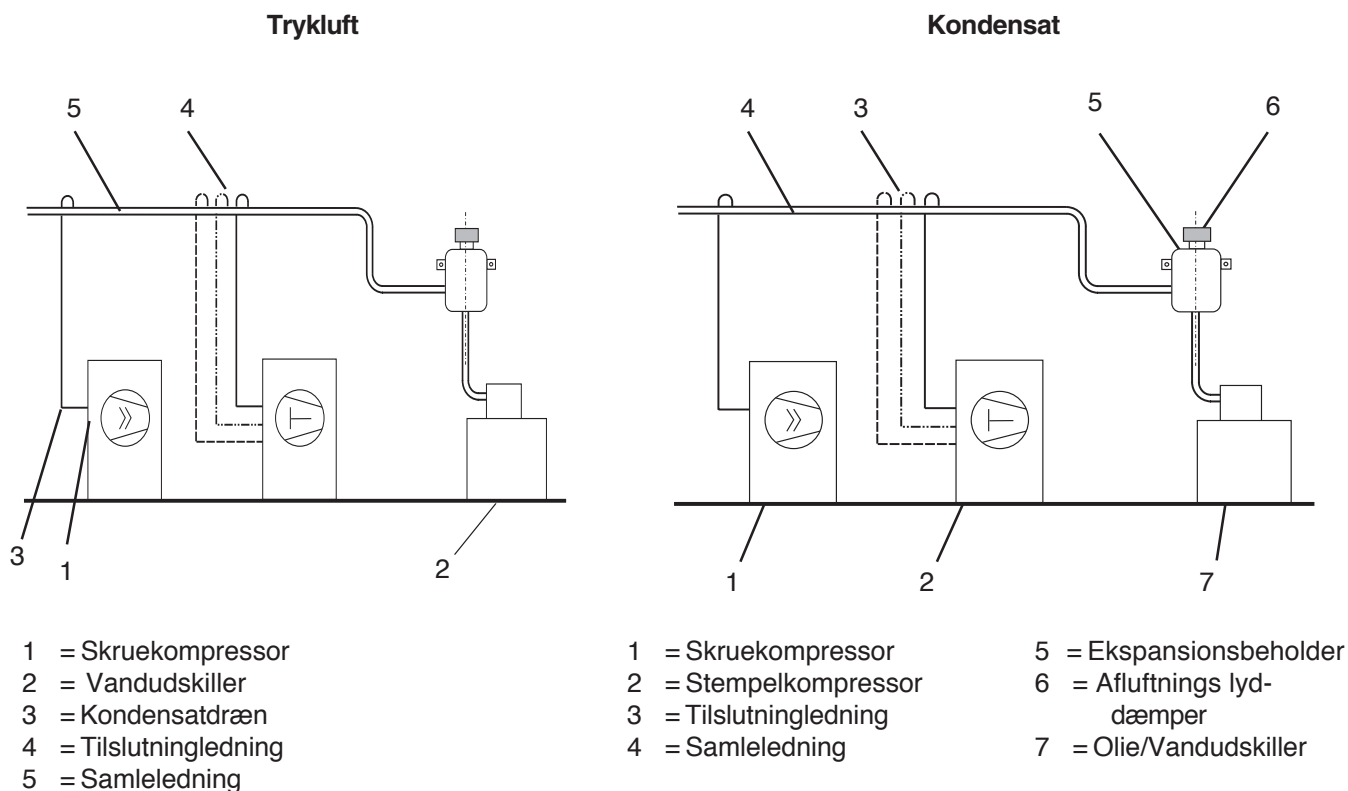


Fig. 9.10 :
Samleledninger

Trykluft- og kondensatsamleledninger

1. Samleledning med fald.
Ledningen skal oplægges med et fald på ca. 1,5-2% i strømningens retning.
2. Tilslutning fra oven.
Tilslutningsledningen skal tilsluttes samleledningen ovenfra.

Trykluftsamleledning

3. Vandudskillere på længere stigende ledninger.
På lange rørlængder der stiger op til en samleledning, skal der efter kompressoren installeres en vandudskiller med automatisk aftapning, så vandet ikke kan løbe tilbage til kompressoren.

Aflutningssamleledning

Punkterne 1 og 2 gælder også når aflutningerne samles i en fælles ledning. Udover denne skal der installeres en ekspansionsbeholder og en aflutningslyddæmper.

9.3 Tips til planlægning af rørsystemer

9.3.1 Generelle planlægnings tips

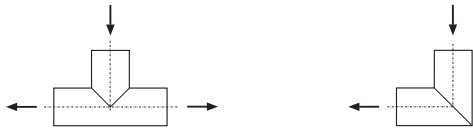


Fig. 9.11 :
Strømningsteknisk dårlige T- og vinkelrørfittings

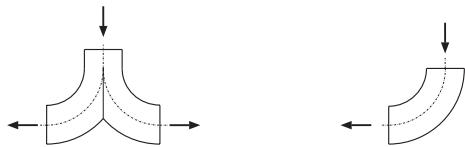


Fig. 9.12 :
Strømningsteknisk gode bukse- og bøjningsfittings

Hvor det overhovedet er muligt bør trykluftrør oplægges i lige længder. Ved hjørner og kroge, må der ikke benyttes T- og vinkelfittings. Store bøjninger og buksetestykker er strømningsteknisk bedre og forårsager lavere tryktab. Pludselige dimensionsændringer bør undgås på grund af de høje tryktab disse fremkalder.

Store rørinstallationer bør opdeles i flere sektioner, som hver er forsynet med en afspærringsventil. Muligheden for at kunne afspærre dele af systemet er vigtigt med henblik på inspektioner, re-parationer og eventuelle ombygninger.

I visse tilfælde kan det være en fordel, at have en supplerende kompressor, der forsyner rørledningsnettet fra et andet punkt. Derved forkortes trykluftens vandring gennem røret, og trykfaldet Δp bliver lavere.

Hovedledninger og store fordelerledninger bør svejses med V-sømme. Derved undgås skarpe kanter og svejseperler i rørets indre. Det nedsætter samtidigt strømningssmodstanden i rørene og forhindrer den overflødige belastning af filtre og værktøjer på grund af svejserester.

9.3.2 Rørledning uden tryklufttørrer

Ved kompressionen danner vandet i luften dråber (Kondensat). Hvis trykluftten ikke efterbehandles med en tryklufttørrer, må der forventes vand i hele tryklufttrørrnettet.

I dette tilfælde skal visse forhold ved nettet betragtes nærmere, så skader på trykluftforbrugerne undgås.

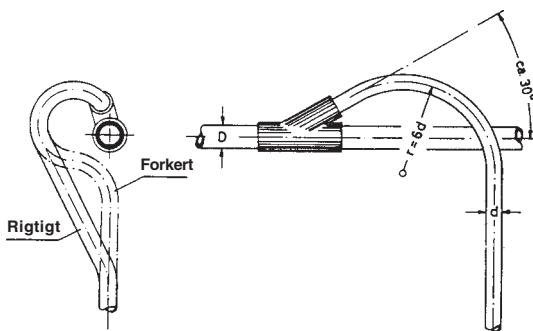
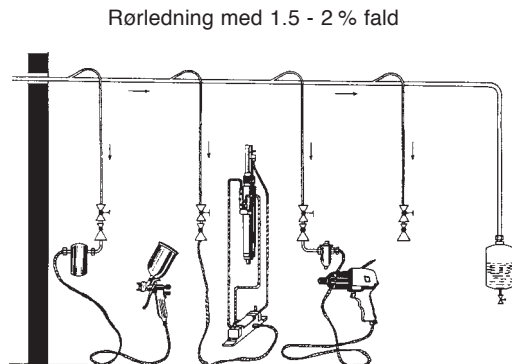


Fig. 9.13 :
Eksempler på korrekt oplagte rør

- **Temperatursænkning.**
Hvor det er muligt, bør trykluftledningerne oplægges sådan, at trykluftstrømmen ikke nedkøles. Trykluftten bør opvarmes gradvist. Når den absolute luftfugtighed forbliver konstant, nedsættes den relative luftfugtighed, og der dannes ikke mere kondensat.
- **Rørledninger med fald.**
Rørledningerne bør oplægges med et fald på ca. 1.5 - 2 % i strømningsretningen. Det kondenserede vand vil da samle sig i den laveste del rørledningen.
- **Lodret hovedledning.**
Hovedledningen direkte efter trykluftbeholderen, bør gå lodret opad. Kondensatet som opstår ved afkøling af rørledningen, kan da komme tilbage til trykluftbeholderen.
- **Kondensatdræn.**
Kondensatdræn bør installeres på de laveste dele af rørrnettet for bortledning af kondensatet.
- **Tilslutningsledninger.**
Tilslutningsledningerne bør installeres i strømningsretningen fra oversiden af forsyningsledningen (som vist på Fig. 9.13). Rørføringen skal være så retliniet som muligt, så unødige strømningstab undgås.
- **Fittings m.m.**
En trykluftservice enhed med filter, vandudskiller og reduktionsventil bør altid installeres. Et trykluftsmøreapparat kan eventuelt også være påkrævet.

9.3.3 Rørledning med tryklufttørrer

Hvis der er installeret en tryklufttørrer med et passende filtersystem i trykluftrørnettet, kan der ses bort fra mange af de tiltag, der er nødvendige for at fjerne kondensatet i rørnettet.

- Rørledningerne.
Rørledningerne kan oplægges vandret, da der næsten ikke samler sig vand i rørsystemet. De andre forholdsregler med hensyn til rørinstallationens oplægning er også overflødige.
- Kondensatdræn.
Kondensatdræn monteres kun ved filtre, trykluftbeholderen og tryklufttørreren.
- Tilslutningsledninger.
Tilslutningsledninger kan monteres med T-fittings vendende lodret nedad.
- Fittings m.m.
Kun trykreduktionsventiler skal monteres ved forbrugsstederne. Afhængigt af anvendelsen, kan det være nødvendigt at montere et trykluftsmøreapparat.

Herved nedsættes omkostningerne til rørinstallationen drastisk. Til tider kan det være så meget, at det dækker investeringen af en tryklufttørrer.

9.4 Tryktab Δp

En trykluftstrøm giver enhver trykluftrørledning en modstand. Denne modstand er indre friktion, der opstår i alle strømmende væsker og gasformede medier. Modstanden er resultatet af en kraft som er fremkaldt mellem molekylernerne (Viskositet) og det strømmende medie mod rørledningens vægge. Dette er årsagen til tryktabet i rørledningerne.

9.4.1 Strømningsart

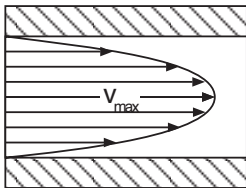


Fig. 9.14 :
Strømning og hastighedsudvikling ved laminær strømning

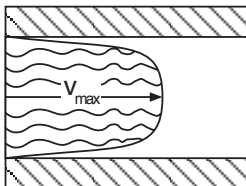


Fig. 9.15 :
Strømning og hastighedsudvikling ved turbulent strømning

9.4.2 Det Reynolds'ke tal, Re

Uafhængigt af den interne friktion, påvirker også strømningstypen i ledningen tryktabet. Trykluft kan bevæge sig på to forskellige måder.

Laminær strømning

Den laminære strøm er en ensartet, lagdelt strømning. De enkelte luftmolekyler i trykluftstrømmen bevæger sig i parallelle, tæt sammenliggende strømningslag. Denne strømningstype har to egenskaber:

- lavt tryktab.
- lav varmeoverførsel.

Turbulent strømning

Turbulent strømning er en hvirvlende, uligemæssig strøm. Den aksialt rettede strøm omdanner sig alle steder i konstant ændrede supplerende bevægelser. Strømningsbanerne har indflydelse på hinanden og danner små hvirvler. Denne strømningstype har to hovedegenskaber:

- stort tryktab.
- høj varmeoverførsel.

Ved hjælp af Reynolds'ke tal Re , kan strømningstypen bestemmes. Det Reynolds'ke tal Re påvirkes af forskellige faktorer:

- Den kinematiske viskositet af tryklufften.
- Middelhastigheden af tryklufften.
- Den indvendige rørdiameter.

Strømningen i en rørledning er laminær, indtil det kritiske Reynolds'ke tal Re_{crit} , er overskredet. Derefter overgår strømningen til en uligemæssig, turbulent tilstand.

Bemærkning

De høje strømningshastigheder, som fører til at Re_{crit} overskrides, forekommer normalt ikke i trykluftrørnettet. Den fremherskende strømningstype i trykluftrørnettet er laminær. Turbulent strømning forekommer kun på steder, hvor der opstår alvorlige forstyrrelser af strømningen.

Strømningshastigheden i trykluftrørledninger må ikke overskride 20 m/s, da støj og turbulent strømning vil blive resultatet.

9.4.3 Tryktab i rørsystemet

Enhver ledningsændring forhindrer trykluftstrømningen i rørledningen. Den laminære strømning ødelægges og højere tryktab er resultatet.

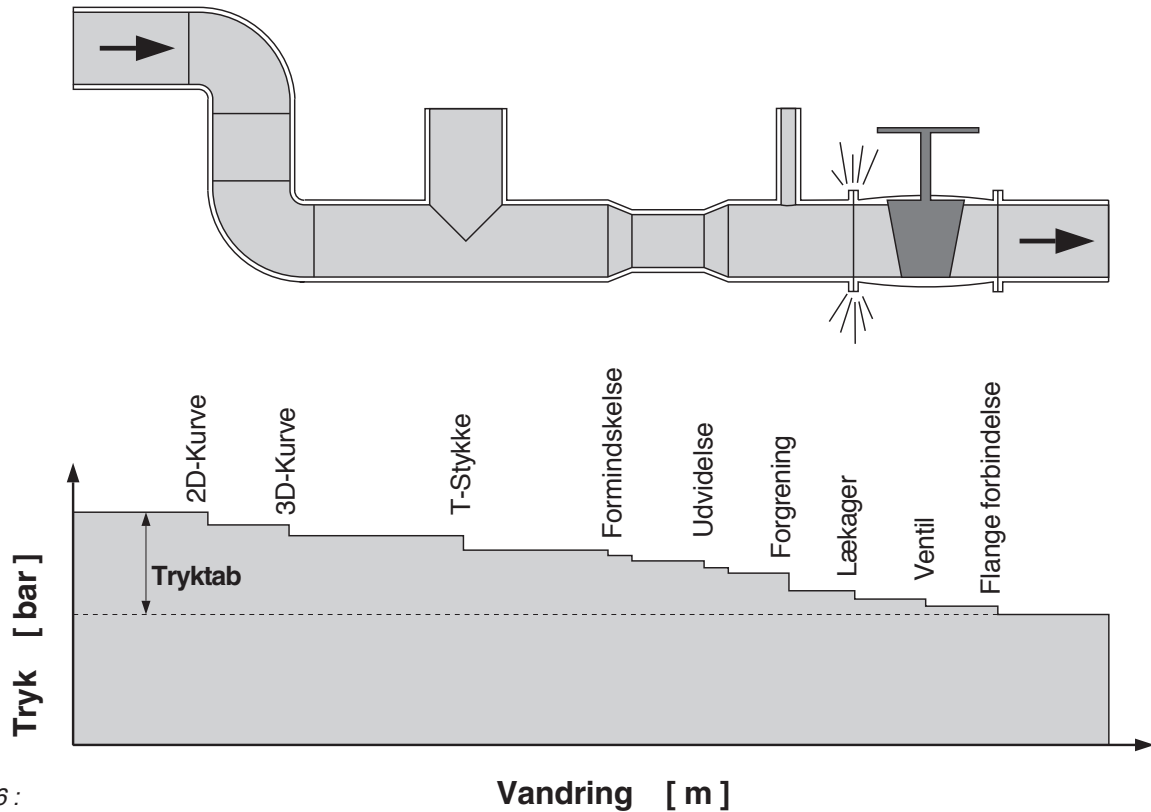


Fig. 9.16 :
Tryktab i en rørledning

Tryktabets højde påvirkes af flere komponenter og begivenheder i rørsystemet :

- Rørlængde.
- Lysning, indre diameter af røret.
- Trykket i rørsystemet.
- Forgøninger og rørcrumbninger.
- Formindskelser og udvidelser.
- Ventiler.
- Armaturer og tilslutninger.
- Filtre og tørrere.
- Lækagesteder.
- Rørens overfladekvaliteter.

Ved planlægningen af rørsystemet må der tages hensyn til disse faktorer, da der ellers kan optræde forhøjede tryktab.

9.5 Dimensionering af rørledninger

Af hensyn til den mest økonomiske drift er dimensioneringen af rørledningerne i trykluftrørnettet af stor betydning. Små rørledningstværsnit forårsager store tryktab. Disse tab skal kompenseres med forhøjet tryk, så forbrugerydelsen kan garanteres til enhver tid.

Hovedgrundlaget for opnåelse af den ideelle rørløsning d_i er følgende:

- Volumenstrømmen \dot{V} .
Den maksimale trykluftgennemstrømning bør danne grundlaget for d_i . Et forhøjet tryktab viser sig særligt ved det maksimale trykluftforbrug.
- Strømningsteknisk rørlængde.
Rørledningens længde bør bestemmes særdeles nøjagtigt. Fittings og bøjninger kan ikke undgås i et rørsystem. Ved bestemmelse af den effektive rørlængde må disse medregnes som ækvivalente lige rørstrengte.
- Driftstryk.
Ved bestemmelse af d_i anvendes kompressorens stoptryk p_{\max} som grundlag. Ved det maksimale tryk er trykfaldet Δp også højest.

9.5.1 Maksimalt tryktab Δp

Tryktabet Δp i en rørledning med det maksimale tryk p_{\max} på 8 bar₀ og derover, bør ved fremkomst til forbrugeren ikke overskride et samlet tryktab:

- Rørsystem $\Delta p \leq 0.1 \text{ bar}$

Følgende værdier gælder for sektioner i rørrøret:

- Hovedledningen $\Delta p \leq 0.04 \text{ bar}$
- Fordelingsledningen $\Delta p \leq 0.04 \text{ bar}$
- Tilslutningsledningen $\Delta p \leq 0.03 \text{ bar}$

Ved rørledningsnet med lavere maksimaltryk (F.eks., 3 bar₀) er et tryktab på 0,1 bar relativt højere, end i et 8 bar₀ system. I dette tilfælde, anbefales en anden værdi der gælder for hele rørledningsnettet:

- Rørsystem $\Delta p \leq 1,5 \% p_{\max}$

9.5.2 Nominelle rørlysninger, sammenligning [DN – UK tommer]

Middelsvære gevindrør fremstillet af standard stål (DIN 17100), som ofte bruges til rørsystemer. De er fremstillet i h.t. DIN 2440 standard. Denne standard foreskriver en bestemt graduering af den nominelle diameter (indvendig diameter d_i) og bestemte betegnelser. Derfor kan fittings og rør kun leveres med tilsvarende diametre.

Gradueringen af den nominelle diameter anvendes også for andet rørmateriale og for andre standarder.

Ved dimensionering af rørledninger skal de standardiserede nominelle rørdiametre overholdes. Andre nominelle rørdiametre kan kun leveres ved speciel fremstilling og er derfor uforholdsmæssigt dyre.

Nedenstående tabel indeholder standard gradueringerne i DN (Diameter Nominel) mm og UK tommer. De vigtigste grundlæggende data for rør i h.t. DIN 2440 :









Nominel diameter i h.t. DIN 2440		Udvendig diameter [mm]	Indvendig diameter [mm]	Indre tværsnit [cm ²]	Gods-tykkelse [mm]
[Tommer]	[DN]				
1/8"	6	10.2	6.2	0.30	2.00
1/4"	8	13.5	8.8	0.61	2.35
3/8"	10	17.2	12.5	1.22	2.35
1/2"	15	21.3	16.0	2.00	2.65
3/4"	20	26.9	21.6	3.67	2.65
1"	25	33.7	27.2	5.82	3.25
1 1/4"	32	42.4	35.9	10.15	3.25
1 1/2"	40	48.3	41.8	13.80	3.25
2"	50	60.3	53.0	22.10	3.65
2 1/2"	65	76.1	68.8	37.20	3.65
3"	80	88.9	80.8	50.70	4.05
4"	100	114.3	105.3	87.00	4.50
5"	125	139.7	130.0	133.50	4.85
6"	150	165.1	155.4	190.00	4.85

9.5.3 Ækvivalent lige rørlængde

En væsentlig faktor ved bestemmelse af rørlængden d_i er rørlængden. Rørledninger består ikke af lige rørlængder, hvis strømningsmodstand hurtigt kan bestemmes. Monterede bøjninger, ventiler og andre fittings giver en kraftig forhøjet strømningsmodstand i rørledningen. Dette er årsagen til at den effektive rørlængde L skal bestemmes under hensyntagen til alle fittings og bøjninger.

For at gøre det mere simpelt er alle strømningsmodstande for de forskellige fittings og armaturer omregnet til lige rørlængder.

Nedenstående tabel angiver den ækvivalente værdi, afhængigt af rørvidde og armaturtype:

Fittings		Ækvivalent rørlængde [m]						
		Rør og fittings nominal vidde [DN]						
		DN 25	DN 40	DN 50	DN 80	DN 100	DN 125	DN 150
Afspærringsventil		8	10	15	25	30	50	60
Membranventil		1.2	2.0	3.0	4.5	6	8	10
Gliderventil		0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	2.5
Knæbøjning 90°		1.5	2.5	3.5	5	7	10	15
Bøjning 90° R = d		0.3	0.5	0.6	1.0	1.5	2.0	2.5
Bøjning 90° R = 2d		0.15	0.25	0.3	0.5	0.8	1.0	1.5
T-stykke		2	3	4	7	10	15	20
Reduktionsstykke D = 2d		0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.5	4.0

Disse værdier skal lægges til de reelle rørlængder, for at få den strømningstekniske rørlængde L .

Bemærk

I reglen er alle oplysninger om bøjninger, fittings og armaturer ikke tilgængelige ved starten af rørledningens placering. Derfor beregner man den strømningstekniske rørlængde L ved at gange de lige rørlængder med 1,6.

9.5.4 Bestemmelse af indvendig diameter d_i af rør.

Dimensionering af den indvendige rørdiameter kan ske tilnærmet ved hjælp af nedenstående formel. Grundlaget for formelen er det maksimale driftstryk p_{max} (Kompressorens stoptryk). Den leverede volumenstrøm (krævet ydelse) og den effektive strømningstekniske rørlængde L . Δp er det tilstræbte tryktab.

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 \times \dot{V}^{1,85} \times L}{10^{10} \times \Delta p \times p_{max}}}$$

- d_i = Indvendig diameter af rørledningen [m]
- \dot{V} = Total volumenstrøm [m³/s]
- L = Effektiv rørlængde [m]
- Δp = Tilstræbt tryktab [bar]
- p_{max} = Kompressor stoptryk [bar_{abs}]

Eksempel

Indvendig rørdiameter d_i for en forbindelsesledning, et tilstræbt tryktab Δp på 0,1 bar; det maksimale driftstryk p_{max} (Kompressor stoptryk) der er 8 bar_{abs}; en volumenstrøm \dot{V} på 2 m³/min og en ca. 200 m lang rørledning. Disse data benyttes ved beregningen til nedenstående tilnærmelsesformel.

- \dot{V} = 2 m³/min = 0,033 m³/s
- L = 200 m
- Δp = 0,1 bar
- p_{max} = 8 bar_{abs}

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 \times 0,033^{1,85} \times 200}{10^{10} \times 0,1 \times 8}}$$

$d_i = 0,037 \text{ m} = 37 \text{ mm}$

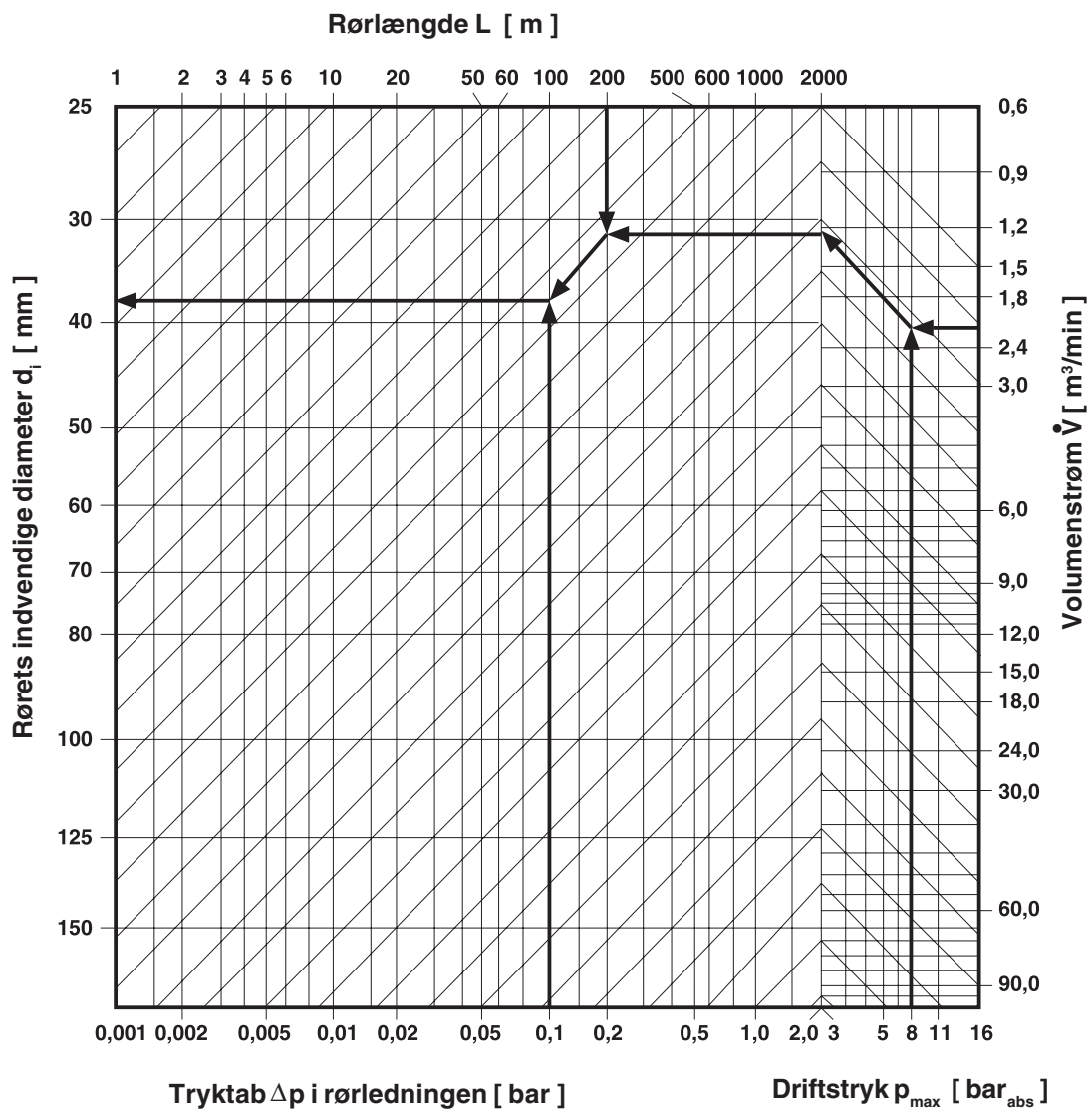
Nominal vidde valgt: DN 40

Ved visse rørdimensioner, er den indvendige diameter standardiseret. Det er sjældent, at man kan finde en nominal rørdiameter der svarer til beregningen. I sådanne tilfælde vælges den næste større nominelle diameter.

9.5.5 Bestemmelse af indvendig diameter d_i af rør ved hjælp af et nomogram

Den indvendige rørdiameter d_i kan bestemmes ved hjælp af et nomogram. Faktorerne er de samme, som ved den matematiske metode.

Begynd med at aflæse skærepunktet mellem volumenstrømmen \dot{V} og driftstrykket p_{max} . Følg pilene på den tykke streg der er vist i eksemplet.



Eksempel

Volumenstrøm	\dot{V}	=	2	m ³ /min
Effektiv rørlængde	L	=	200	m
Tryktab	Δp	=	0,1	bar
Driftstryk	p_{max}	=	8	bar _{abs}
Indvendig rørdiameter	d_i	=	app. 38 mm	

Den nominelle rørvidde valgt for rørledningen er DN 40

9.5.6 Bestemmelse af indvendig diameter d_i af rør ved hjælp af et "bar" skema

Den tredje måde til bestemmelse af indvendig rørdiameter d_i er 'bar' skemaet. Anvendelsen af denne metode ret begrænset. To betingelser skal være opfyldt når dette 'bar' eller 'Spalteskema' anvendes:

- Et maksimalt tryk p_{max} på 8 bar_o i rørnettet.
- Et tilstræbt tryktab Δp på 0,1 bar.

Skemaet er meget let at anvende:

Tag den maksimale volumenstrøm \dot{V} og den effektive rørlængde og find de respektive linier eller kolonner på kortet. Det resulterende skæringspunkt angiver den korrekte nominelle rørdimension, der svarer til behovet.

Volumen- strøm \dot{V} [l/min]	Strömungstechnische Länge der Rohrleitung [m]															
	10	20	30	40	50	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	
100	DN 8		DN 10													
200	DN 10		DN 15													
300																
400					DN 20					DN 25						
500																
750																
1000																
1500																
2000					DN 32											
2500																
3000								DN 40								
3500										DN 50						
4000																
4500													DN 65			
5000																
6000																
7000														DN 80		
8000																

Druckabfall Δp ca. 0,1 bar bei einem Höchstdruck $p_{max} = 8 \text{ bar}_u$

Eksempel

Tryktab	$\Delta p = 0,1$ bar
Driftstryk	$p_{max} = 8$ bar _o
Effektiv rørlængde	$L = 200$ m
Volumenstrøm	$\dot{V} = 2000$ l/min

Den nominelle rørdimension valgt for rørlinjen er DN 40

9.6 Valg af rørmateriale

Rørledninger i et rørledningsnet er i reglen fremstillet af stål eller plast. De skal kunne opfylde visse kriterier. Til visse formål begrænses deres anvendelse:

- Korrosionsbeskyttelse.
Så længe trykluftten ikke tørres i et efterbehandlingsanlæg, er korrosionsbeskyttelsen et kardinalspørgsmål. Rørene kan i tidens løb ruste.
- Maksimal driftstemperatur.
Nogle materialer taber ved høje temperaturer deres styrke og bliver skøre ved lave temperaturer.
- Maksimalt driftstryk.
Det maksimale driftstryk falder ved tiltagende termisk belastning.
- Lavt tryktab.
Lavt tryktab opnås ved høj overfladekvalitet i rørets indre overflade.
- Lave installations omkostninger.
Installationsomkostningerne kan nedsættes ved anvendelse af fittings. Det fremmer en hurtig og dermed billig installation.

9.6.1 Gevindrør

Gevindrør i h. t. DIN 2440, DIN 2441 og DIN 2442 (I mellem- svære og svære udgaver) anvendes i stor udstrækning til trykluftrørnet. De bruges især ved mindre og mellemstore fordelings- og tilslutningsledninger. Gevind rør bruges overalt, hvor kravene til trykluftens kvalitet ikke er særligt højt. De kan leveres som sorte og galvaniserede rør.

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| - Dimensioner | DN 6 - DN 150 |
| - Maksimalt driftstryk | max. 10 - 80 bar _o |
| - Maksimal driftstemperatur | 120° C |

Fordele

Gevindrør er relativt billige og lette at installere. Der findes mange forskellige og brugbare fittings der letter installationen. Samlingerne kan adskilles og de enkelte dele kan genanvendes.

Ulemper

Gevindrørene har en høj strømningsmodstand og samlinger kan med tiden blive utætte. Der kræves en erfaren montør ved installationen. U-galvaniserede gevindrør bør ikke anvendes i røret uden tryklufftørre, da de ellers ruste.

9.6.2 Sømløse stålør

Sømløse blødstålrør i h. t. DIN 2448 benyttes hovedsageligt til hoved- og fordelingsledninger med mellemstore og store rørdiametre. De findes både i sort og galvaniseret udførelse.

- Dimensioner 10.2 - 558,8 mm
- Maksimalt driftstryk max. 12.5 - 25 bar_o
- Maksimal driftstemperatur 120° C

Fordele

Sømløse stålør findes i størrelser op til 558,8 mm. De er absolut lufttætte, hvis de installeres rigtigt. Lækager forekommer praktisk talt ikke. Rørene er ret billige, og der findes relativt mange dele at vælge imellem.

Ulemper

Oplægningen af sømløse stålør kræver en erfaren montør, da de skal sammensvejses eller forbindes med flanger. Ugalvaniserede stålør, bør ikke anvendes uden trykluft-tørrer, da de ruster.

9.6.3 Rustfri stålør

Rustfri stålør i h. t. DIN 2462 og DIN 2463 anvendes kun i trykluftørledningsnet, hvor der stilles de højeste kvalitetskrav. De anvendes ofte i den „våde“ del af et konventionelt rør-system mellem kompressoren og tryklufttørreren.

- Dimensioner 6 - 273 mm
- Maksimalt driftstryk max. 80 bar_o, og højere
- Maksimal driftstemperatur 120° C

Fordele

Rustfri stålør kan ikke korrodere og de har en lav strømningsmodstand (Lavt tryktab). De er absolut lufttætte, hvis de monteres rigtigt. Lækager forekommer praktisk talt ikke.

Ulemper

Montering af rustfrie stålør kræver en erfaren montør, da de skal sammensvejses eller forbindes med flanger. Rørene er meget dyre og udvalget af rørdelen er ret begrænset.

9.6.4 Kobberrør

Kobberrør i h. t. DIN 1786 og DIN 1754 anvendes til små og mellemstore rør i forbindelse med bl. a. processtyringer. De sømløse rør findes som hårde, mellemhårde og bløde rør.

- | | |
|-----------------------------|---|
| – Dimensioner | Bløde 6 - 22 mm
Mellemhårde 6 - 54 mm
Hårde 54 - 131 mm |
| – Maksimalt driftstryk | max. 16 - 140 bar _o |
| – Maksimal driftstemperatur | 100° C |

Fordele

Kobberrør findes i lange længder. I små dimensioner er de bøjelige, og lette at arbejde med. Det er derfor muligt at bruge et helt rørstykke til længere sektioner af rørrettet. Hermed nedsættes antallet af samlinger. Mulighed for lækager er begrænset.

Kobberrør er korrosionsbestandige og tryktabet er ringe, på grund af de glatte indvendige rørflader.

Ulemper

Der kræves en erfaren montør til montering af kobberrør, da alle fittings i reglen skal påloddet. Samlingerne kan ikke adskilles.

Materialet er dyrt, men der er mange dele til rådighed, da kobberrør også anvendes til sanitært brug.

Ved længere ledninger skal der tages hensyn til kobberets varmeudvidelse. Varmeudvidelseskoefficienten for kobber er større end for stål.

Hvis tryklufften er fugtig, kan der på grund af løse kobberpartikler dannes galvaniske elementer i efterfølgende stålrør, som kan føre til hultæringer. Kobbervitriol kan også opstå.

9.6.5 Plastikrør

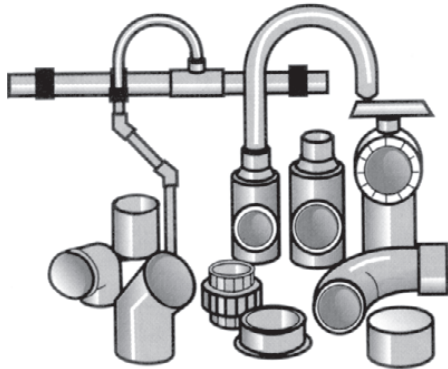


Fig. 9.17:
Et sortiment af formede plastdele og armaturer

Plastrørsystemer kan leveres fra forskellige producenter og i forskellige materialer. Det er bl. a. polyamidrør for høje tryk og polyethylenrør for store diametre. Det betyder, at der findes plastrør med de fornødne egenskaber, til næsten ethvert formål. Det er vanskeligt at fremkomme med generelle oplysninger om deres anvendelse, dimensioner, driftstryk- og temperaturer.

Fordele

Da plastrør ikke korroderer, bortfalder alle krav om overfladebeskyttelse. Rørene er op til 80 % lettere end stålrør. Derved forenkles installationen og der kan anvendes simple rørholdere.

De indre overflader er meget glatte. Strømningsmodstanden er lav (Lavt tryktab) og aflejringer af kalcium eller rust, har praktisk talt ingen mulighed for at kunne opbygges. Set ud fra et toksikologisk og hygiejnisk synspunkt, er plastrør normalt uskadelige.

PVC rørsystemer og lignende har et stort udvalg af dele og armaturer. Installationen er meget nem. Rørsektionerne sættes sammen og forbindes lufttæt med et specielt klæbestof. Der kræves ingen speciel faglig viden til installationen. Tryktab og lækager er ved anvendelse af plastrør yderst ringe.

Ulemper

PVC rørsystemer har kun et maksimalt driftstryk på 12.5 bar ved 25° C. Det maksimale driftstryk for plastrør falder hurtigt ved stigende temperatur. Derfor må plastikrør ikke bruges i den varme del af et kompressor anlæg og de skal være beskyttet mod sollys.

Plastrør har store koefficienter for lineær udvidelse og deres mekaniske styrke er ikke særligt høj.

Ved visse plasttyper kan der ikke altid garanteres for modstandsdygtighed overfor kondensat og olier. Sammensætningen af kondensater må derfor undersøges på forhånd.

Plastrør fremstilles ikke i større mængder for høje tryk eller med store diametre. Derved bliver de dyre og antallet af dele er begrænset. En erfaren plastsvejsers er nødvendig for installation af sådanne rør.

9.7 Mærkning af rørledninger

Rørledninger bør afmærkes tydeligt, i overensstemmelse med det medie de indeholder. En eentydig afmærkning letter også den rette installation, planlægningen af udvidelser og brandbekæmpelse. Det følgende er uddrag af DIN 2403.

Afmærkningen skal henvise til eventuelle faremomenter og derved forebygge uheld og eventuel legemsbeskadigelse. Ledningsmarkeringen gør det også lettere, at følge de enkelte strenge i et kompliceret rørsystem. Af disse årsager bør strømningsretningen af mediet angives.

Rør mærkes med ID numre (Grupper) og farver, som begge er angivet i DIN 2403.

Medie	Gruppe ID nummer	Farve	Farvenummer
Luft	3	Grå	RAL 7001
Vand	1	Grøn	RAL 6018
Brændbare væsker	8	Brun	RAL 8001
Gas	4/5	Gul	RAL 1013
Vanddamp	2	Rød	RAL 3003
Syrer	6	Orange	RAL 2000
Lud	7	Violet	RAL 4001
Illt	0	Blå	RAL 5015

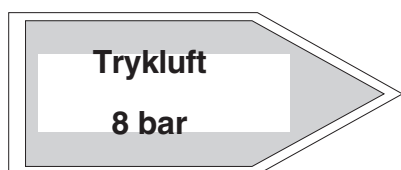


Fig. 9.18:
Mærkeplader med klar tekst

Markeringsfarver og markeringer med tekst skal anbringes på visse punkter:

- Med tekst ved begyndelsen af ledningen.
- Med tekst ved afslutningen af ledningen.
- Med tekst ved forgreninger.
- Med tekst, hvor ledningen går gennem en væg.
- Med tekst ved armaturer og fordelere.
- Med ringformet farve langs med ledningen, eller med fuld bemaling i hele ledningens udstrækning.

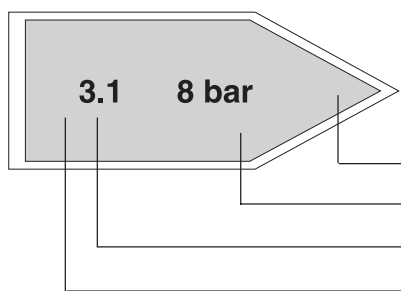


Fig. 9.19:
Mærkeplader med ID kendetil

Mærkeplader

- Strømretning.
- Farve som angivet for mediet.
- Undergruppe nummer (Forskellige rørsystemer).
- Mediets gruppenummer.

10. Kompressorrummet

Kompressorrummet skal opfylde en række betingelser, der sikrer de rette driftsforhold. Det er vigtigt med et korrekt planlagt og udført kompressorrum. Ca. 2/3 af alle kompressorfejl hidrører fra forkert installation, utilstrækkelig ventilation og manglende vedligeholdelse.

Endvidere skal de gældende sikkerhedsforskrifter for undgåelse af ulykker og personskader samt miljøreglerne overholdes.

10.1 Køling af kompressoren

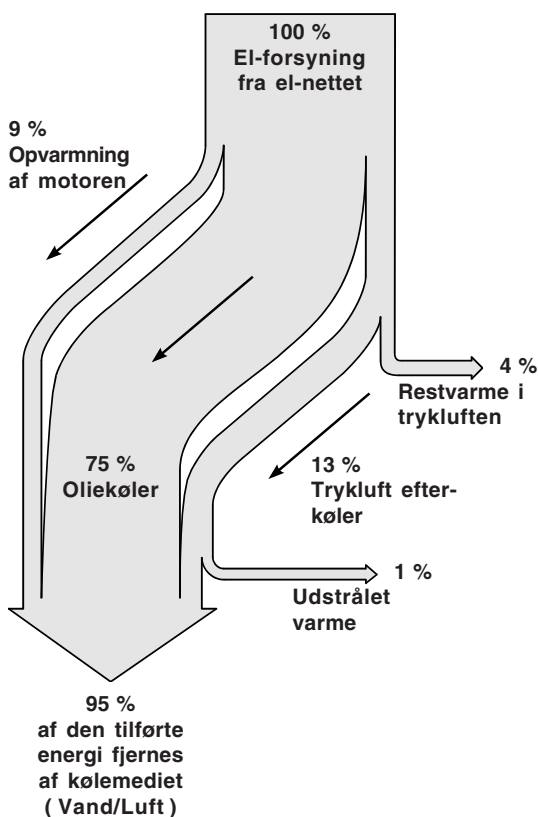


Fig. 10.1 :
Varmefordelingen i en skruekompressor med
olieindsprøjtet køling.

Ved planlægningen af et kompressor rum må det erindres, at der under komprimeringen i kompressoren opstår store mængder af spildvarme. Her gælder termodynamikkens første hovedregel, der fastlægger, at den samlede optagne elektriske effekt i kompressoren omdannes til varme.

Varmen skal bortledes på sikker måde, da der ellers kan opstå en varmeophobning i kompressoren. Er den omgivende temperatur i kompressorrummet i længere tid for høj, kan det føre til mekaniske skader på kompressortrinene og drivmotoren.

Køleluft- h.h.v. kølevandsvandsbehovet kan dækkes på to måder:

- Luftkøling.
Luftkøling er den mest udbredte metode for alle kompressortyper. I disse tilfælde er be- og afluftningen af kompressorrummet særligt vigtigt. Det skal være godt planlagt og udført. Sker dette ikke, er termiske problemer med kompressoren uundgåelige .
- Vandkøling.
Køling med kølevand kan forekomme ved større kompressorer, når varmen ikke kan fjernes med luftkøling. Vandkøling stiller ikke så store fordringer til ventilationen af kompressorrummet.

I dette kapitel gennemgås først og fremmest de krav og forskrifter, som gælder for kompressorrum med luftkølede kompressorer. Med undtagelse af oplysningerne om ventilationen, kan alle anvisninger også anvendes i forbindelse med vandkølede kompressorer .

10.2 Installation af kompressoren

Ved installationen af kompressorer og andre komponenter der indgår i et kompressor anlæg, skal visse forhold tages i betragtning. Hvis disse betingelser ikke overholdes kan det føre til funktionelle fejl. Desuden er der nogle ulykkesbeskyttelses- og miljøbestemmelser, der skal tages hensyn til.

10.2.1 Generelle forhold i kompressorrummet

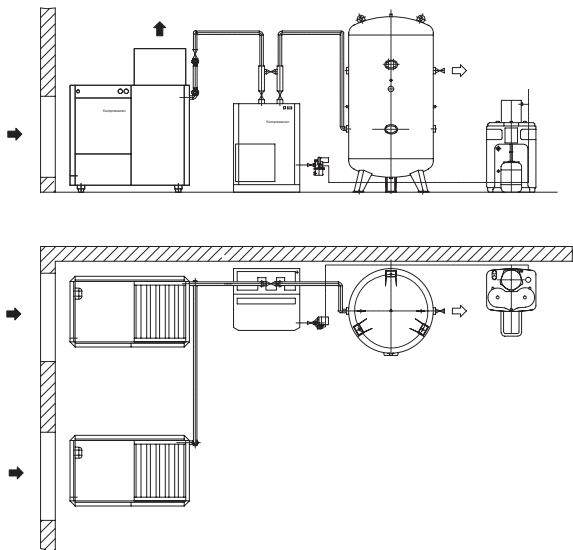


Fig. 10.2 :
Kompressor anlæg med to skruekompressorer, trykluft køletørrer, trykluftbeholder og olie/vandudskiller.

Kompressorrummet bør være rent, fri for støv, tørt og være køligt. Der skal lukkes for adgang af stærkt sollys. Selve rummet bør ligge på nordsiden af en bygning, hvis det overhovedet er muligt, eller i en godt ventileret kælder.

Der bør ikke være nogen varmeafgivende rørinstallationer i et kompressorrum. Kan installationen ikke undgås, må rørene og eventuelle varmeafgivende aggregater isoleres.

Let tilgængelighed og god belysning bør forefindes til service af kompressorer og periodisk inspektion af de installerede trykluftbeholdere.

Et kompressorrum skal altid være ventileret tilstrækkeligt, til at kunne forebygge en stigning af den omgivende lufttemperatur, så denne ikke overskrider det maksimale tilladte niveau.

10.2.2 Tilladelig omgivende temperatur

Den ideelle omgivende temperatur for kompressordrift ligger mellem +20° til +25° C. Følgende omgivende temperaturer gælder for stempel- og skruekompressorer :

- Minimum +5° C.
Falder temperaturen under +5° C, kan rørledninger og ventiler ise til. Dette kan føre til funktionsfejl på kompressoren. Skruekompressorer stopper automatisk, så snart kompressions-temperaturen falder under det minimalt tilladte niveau. Særligt frostbeskyttelses udstyr gør det muligt at komme ned på -10° C.
- Maksimum +40° C.
Maksimum +35° C med lydisolerede stempelkompressorer. Hvis den omgivende temperatur stiger over det maksimale niveau, kan trykluftens afgangstemperatur komme over den lovmæssigt fastsatte grænse. Trykluftens kvalitet sænkes. Kompressorens komponenter udsættes for højere belastning og vedligeholdelsesintervallerne bliver kortere. Skruekompressorer stopper automatisk, når afgangsluftens temperatur overskrider den tilladte grænse.

10.2.3 Brandsikringsregler for kompressorrum

Specifikke regler herom findes p.t ikke i Danmark, udover det i AT-bekendtgørelse nr. 746 af 26. november 1987, i kapitel 8, *Opstilling*, i § 34 nævnte: Opstillingsstedet skal have tilstrækkelig belysning og være hensigtsmæssigt ventileret og brandsikret. Citat slut. Evt. vejledning skal indhentes hos den stedlige kommunes tekniske afdeling.

Udover dette kan der ved særlig brandfarlig produktion henvises til de offentlige byggevedtægter og bestemmelser, der angiver retningslinier for indretning af brandsikrede rum.

Krav til indretning af brandbeskyttede rum, kan f. eks. omfatte:

- Vægge, lofter, gulve og døre skal udføres i h.t. til den angivne klassificering.
- Der må ikke i rummet opbevares brandfarlige væsker.
- Gulvarealet rundt om kompressoren må ikke bestå af brændbart materiale.
- Lækageolie må ikke kunne spredes ud over gulvet.
- Der må ikke være brændbart materiale nærmere end i en radius på tre meter fra kompressoren..
- Ingen brændbare installationskomponenter, som kabler og kabeltrug må lægges henover kompressoren.

10.2.4 Fjernelse af kondensat

Den indsugede luft indeholder vand i form af damp, som ved komprimeringen udskilles som kondensat. Kondensatet indeholder olie. Uden forudgående rensning må kondensatet derfor ikke bortledes i det offentlige spildevandssystem.

De af den stedlige kommunes miljømyndigheder givne forholdsregler, skal ubetinget følges.

Der kan anbefales en olie/vandudskiller. Det rensede vand kan da bortledes gennem det offentlige spildevandssystem. Olien opsamles i en passende beholder og bortskaffes. Det er miljømæssigt korrekt at sende olien til et anerkendt spildolieopsamlingssted. Det kan f.eks være den lokale kommunale indsamlings-ordning, evt. den lokale genbrugsplads eller til et autoriseret spildolieopsamlingsfirma.

Kompressor rummet

10.2.5 Kompressor installations-anvisninger

Uafhængigt af ventilationen, er der endnu nogle generelle anvisninger med hensyn til kompressorens opstilling:

- Ved opstilling af en kompressor eller trykluftbeholder, kan et ikke funderet, plant gulv med passende bæreevne anvendes. Specielle montagekomponenter er i reglen ikke nødvendige.
- Kompressoren bør dog altid monteres på svingningsdæmpere. Derved sker der ingen overførsel af svinginger, fra gulvet resp. fundamentet til de øvrige bygningsdele.
- Kompressoren bør forbindes med det faste røret ved hjælp af en højtryksslange, ca. 0.5 m lang. Dette forebygger overførsel af vibrationer fra kompressoren til det faste ledningsnet og kompenserer for evt. ledningsskævheder.
- Findes der støv på opstillingsstedet, skal kompressoren forsynes med et papir-sugefilter. Herved holdes slitagen på kompressoren nede på et minimum.
- Kompressorenheder må aldrig dækkes med lukkede kasser eller hjelme. Sådanne tildækninger fører til termiske problemer. Undtagelsen herfra er et lyd-dæmpningskabinet, som er specielt konstrueret til hver enkelt kompressortype.

10.2.6 Arealbehov for en kompressor

En kompressor har et arealbehov, der er afhængig af dens art og type. Ud fra denne kendsgerning fremkommer specifikke mindstemål i alle retninger.

- Kompressoren skal opstilles, så der er let adgang for betjening og vedligeholdelse.
- Til sikring af kompressorens køling, skal der være en mindsteafstand mellem ventilator eller køler, den nærmeste væg og andet udstyr. Overholdes dette ikke, vil effekten af ventilatoren eller køleren blive stærkt nedsat.
- Når flere kompressorer installeres i nærheden af hinanden, må den ene kompressors køleluft ikke anvendes til at køle en anden kompressor.

Mindsteafstandene til vægge og ved siden af liggende udstyr og maskineri, kan til tider variere meget, og er afhængig af type og udførelse. Derfor skal de respektive mål tages fra driftsvejledningerne.

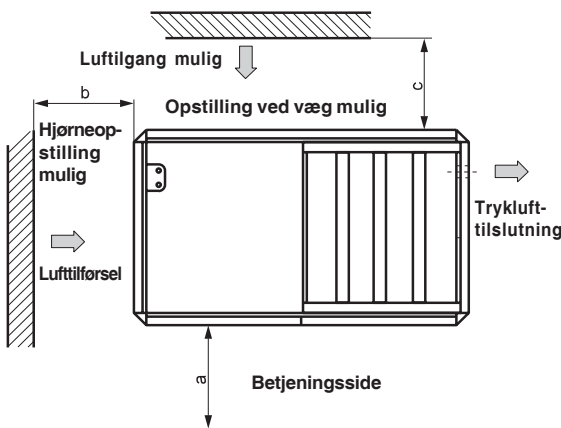


Fig. 10.3 :
Plan for arealbehovet af en skruekompressor,
Type S 21 - S 30

10.2.7 Krav for opstilling af trykluftbeholdere

For opstilling af trykluftbeholdere gælder bestemte regler for forebyggelse af ulykker. Mange års erfaring ligger til grund for de danske AT-bestemmelser.

- Trykluftbeholder skal være beskyttet mod eksterne skader, f. eks. faldende genstande.
- Beholderen og dens udstyr skal kunne betjenes fra et sikkert sted.
- Sikkerhedsområder og -afstande skal overholdes.
- Trykluftbeholderen skal stå sikkert, hvor den er opstillet . Den må ikke flyttes eller tippes af eksterne kræfter. Dette omfatter også den tilkommende belastning under en trykprøvning! Ved store trykluftbeholdere kan det være nødvendigt, at opstillingen sker på et forstærket fundament.
- Beholderens navneskilt skal være let læselig.
- Trykluftbeholdere skal have en rimelig korrosionsbeskyttelse.
- Stående beholdere transporteres vandret til opstillingsstedet og rejses på deres fødder derefter. Den diagonale højde af beholderen må derfor sammenlignes med opstillingsrummets højde. Er sidstnævnte mindre, vil det være umuligt at rejse beholderen op.

Supplerende oplysninger:

AT bekendtgørelse nr. 746/26.11.87 (P.t. under revision)

Afsnit II Trykbeholdere, kapitel 8 *Opstilling* §§ 32 til 38

10.3 Ventilation af et kompressor-anlæg

Den vigtigste betingelse for driften af en luftkølet kompressor, er en tilstrækkelig køleluftstrøm \dot{V}_c . Kompressorens afgivne spildvarme, skal til enhver tid kunne bortledes. Afhængigt af rumforhold, kompressoropbygning og -type, er der tre ventilationsmuligheder:

- Naturlig ventilation.
Ventilations til- og afgang gennem åbninger i sidevægge eller loft eller naturlig ventilation, d.v.s. uden anvendelse af en ventilator.
- Kunstig ventilation.
Ventilationen sker gennem luft til- og afgangsåbningerne i sidevæggene eller loftet, ved hjælp af en afluftningsventilator.
- Luft til- og afgangskanaler.
Ventilation sker ved hjælp af passende kanaler. De er i reglen suppleret med en udsugningsventilator.
- Ved vandkølede kompressorer fjernes hovedparten af varmen af kølevandet. Restvarmen (varmeudstråling fra motoren) skal fjernes af køleluft.

10.3.1 Faktorer med indflydelse på kølestrømmen \dot{V}_c af en kompressor

Afhængigt af driftsydelsen, afgiver kompressoren en vis mængde spildvarme. Ved luftkølede kompressorer skal varmen fjernes med en passende køleluftstrøm \dot{V}_c .

Volumenstrømmen \dot{V}_c af køleluften samt motorvarmen bliver påvirket af flere faktorer:

- Transmissionsvarme
Gennem kompressor rummets vægge (inkl. vinduer og døre) afgives en del af den opstående varme som transmissionsvarme. Væggenes, loftets, samt døres og vinduers beskaffenhed påvirker køleluftstrømmen \dot{V}_c betragteligt.
- Rumtemperatur.
Bliver kompressorrummets temperatur højere, bevirker det et øget køleluftbehov.
- Temperaturfald.
Ved højere differensstemperatur Δt mellem udendørs og indendørs temperaturen bliver kravet til køleluftstrømmens volumen mindre.
- Rumhøjde og -størrelse.
Ved højere rumhøjde og størrelse af rummet, fordeles den opstående varme bedre og kravet til køleluftstrømmen formindskes tilsvarende.

10.3.2 Faktorer med indflydelse på kølestrømmen \dot{V}_c til og fra en kompressor

For opnåelse af generelt anvendelige talværdier for køleluftstrømmen \dot{V}_c er følgende grænseværdier fastlagt, som har indflydelse på køleluftstrømmens volumen \dot{V}_c .

- Rumtemperatur 35° C = 308 K
- Temperaturdifferens Δt 10 K
- Vægtykkelse 25 cm
Der forudsættes at de omgivende vægge er homogene murstensvægge, uden vinduer og døre.
- Rumhøjde og -størrelse.
Rumhøjden er sat til at være mindre end 3 m og rummets areal regnes med at være mindre end 50 m².

De angivne grænseværdier går ud fra de mest ugunstige omgivelsesforhold for drift af en kompressor, men er generelt anvendelige, da forholdene i de fleste kompressor rum er bedre.

Varmeproblemer vil ikke opstå, hvis køleluftstrømmen \dot{V}_c for en kompressor er tilstede.

Kompressor rummet

10.3.3 Generel information om ventilation af kompressor rum

I dette kapitel behandles de væsentligste betingelser for ventilationen i et kompressorrum med en eller flere luftkølede kompressorer. Der oplyses desuden om de krav, der må opfyldes for luftindtag og -afgang ved rummets indretning. Retningslinierne er baseret på VDMA Specifikationsblad 4363 givne anvisninger: "Ventilation af installationsrum for luftkølede kompressorer".

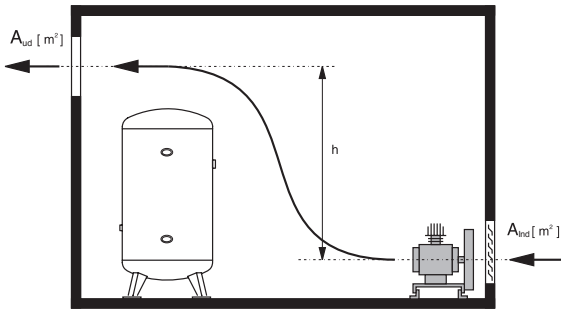


Fig. 10.4 :
Placering af køleluft til- og afgangsåbninger

- Varm luft stiger altid opad. For opnåelse af en effektiv varmeudveksling, skal tilgangsåbningerne for kold luft, altid placeres så tæt som muligt i gulvhøjde. Afgangsåbningerne skal anbringes i loftet eller **allerøverst** i en sidevæg .
- Kompressoren skal placeres tæt ved tilgangsåbningen A_{IND} således, at der trækkes frisk luft ind til komprimering og ventilation direkte fra tilgangsåbningen A_{IND} .
- Kompressoren skal opstilles så den ikke kan indsuge den opvarmede afgangsluft fra en ventilation.
- Tilgangsåbningerne eller -kanalerne skal være monteret så farlige supplerende medier (F.eks., eksplosive eller kemisk ustabile substanser) kan indsuges.
- Afgangsventilationsluften fra kompressoren skal, når en trykluftbeholder er installeret, passere denne og derefter strømme til afgangsåbningen A_{UD} . Opstillingen af aggregaterne skal derfor ske i overensstemmelse hermed.
- I tilgangsåbningen A_{IND} skal der installeres justerbare rullejalousier. Med disse kan den kolde udefra kommende luftstrøm reduceres, så rummets tilladelige minimal temperatur kan overholdes om vinteren. Hvis dette ikke er tilstrækkeligt, må kompressoren forsynes med sit eget varmeaggregat.
- Når der installeres flere kompressorer, må det sikres, at der ikke opstår en gensidig varmebelastning. Hvis en kompressor indsuger afgangskøleluft fra en anden, vil anlægget blive overhededet. Ventilationen skal kunne dække den samlede køleluftstrøm for alle kompressorer. Den ideelle løsning er, at hver kompressor har sin egen tilgangsåbning, der dækker dens køleluftbehov.

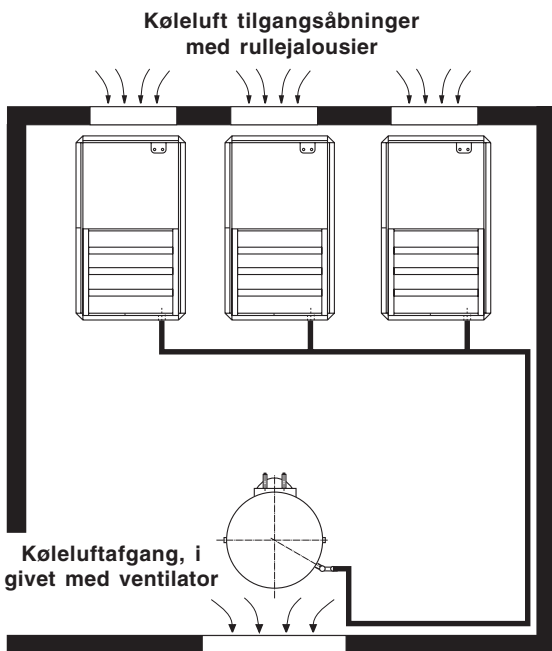


Fig. 10.5 :
Kompressor rum med tre lyddæmpede kompressorer

10.3.4 Naturlig ventilation

Ved naturlig ventilation, styres luftskiftet af en lufttilgang A_{IND} og en luftafgang A_{UD} i sidevæggene af kompressorrummet. Varmen udskiftes ved varmluftens opadgående bevægelse. For at opnå tilstrækkelig ventilation, må lufttilgangsåbningen placeres så langt nede som muligt i forhold til afgangen.

Erfaringerne viser, at denne ventilationsmetode, kun er tilstrækkelig for kompressorer med et effektbehov op til 22 kW. Selv mindre kompressorer kan have ventilationsproblemer. De kan være afhængige af omgivelsesforholdene i kompressor rummet.

10.3.4.1 Krævet afgangsåbning ved naturlig ventilation

En tilstrækkelig køleluftstrøm \dot{V}_c , kan kun opnås med naturlig ventilation, hvis luft til- og afgangene har den passende størrelse.

Data i nedenstående tabel er baseret på VDMA Specifikationsblad 4363 "Ventilation af installationsrum for luftkølede kompressorer".

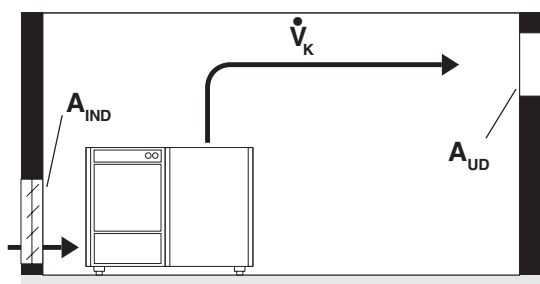


Fig. 10.6 :
Naturlig ventilation for et kompressor rum med en lyd-dæmpet skruekompressor

Effekt-behov P [kW]	Krævet køleluft-strøm \dot{V}_c [m ³ /hr]	Krævede ventilationsåbninger A_{IND} og A_{UD} [m ²]
3,0	1350	0,20
4,0	1800	0,25
5,5	2270	0,30
7,5	3025	0,40
11,0	3700	0,50
15,0	4900	0,65
18,5	6000	0,75
22,0	7000	0,90

I princippet skulle lufttilgang A_{IND} og luftafgang A_{UD} være af samme størrelse. Køleluften skal passere begge åbninger. Men på grund af installationen af rullejalousier, gitre og lignende, bør lufttilgangsåbningen være ca. 20 % større end luftafgangen A_{UD} . Er dette ikke tilfældet, kan det føre til, at den maksimale temperatur overskrides.

Bemærk

Ved bestemmelse af køleluftstrømmen \dot{V}_c for et kompressor-anlæg må en trykluft køletørrer eller en varmt regenereret adsorptionstørrer tages med i beregningerne.

Kompressor rummet

10.3.5 Mekanisk ventilation

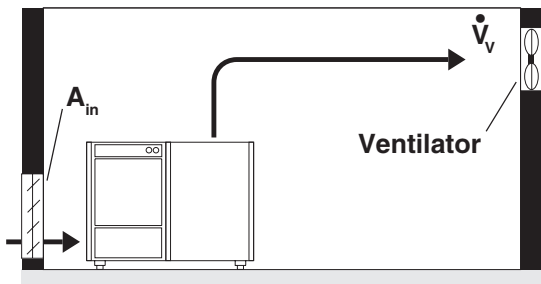


Fig. 10.7:
Kunstig ventilation af et kompressor rum med en lyddæmpet skruekompressor

I mange tilfælde vil en naturlig ventilation af kompressorrummet være utilstrækkelig. På grund af bygningsmæssige forhold, og/eller en høj ydelse fra de opstillede kompressorer, er det umuligt at sikre den nødvendige køleluftstrøm. I sådanne tilfælde, må den varme luft fjernes ved hjælp af en ventilator.

Mekanisk ventilation fremmer strømningshastigheden af køleluften i kompressorrummet og garanterer for den nødvendige luftstrøm med den tvungne ventilation. Der opnås større reserver når udendørstemperaturen er høj. Luftens tilgængelighed skal tilpasses ventilatorens ydeevne.

Ventilatoren(er) skal, af økonomiske årsager, styres af en termostat med flere trin. Styringen afhænger af temperaturen i kompressorrummet. Ved højere temperatur bliver ydelsen af ventilatoren større.

10.3.5.1 Krævet ventilatorydelse ved mekanisk ventilation

Ved naturlig ventilation, afhænger køleluftstrømmen \dot{V}_c af ydelsen fra de opstillede kompressorer. Den opståede spildvarme fra kompressoren skal kunne udledes sikkert. Ventilatorydelsen \dot{V}_v beregnes ca. 15% større end køleluftvolumenet \dot{V}_c . Dette giver en perfekt køling selv på en højsommerdag.

Talværdierne i nedenstående tabel er baseret på VDMA Specifikationsblad 4363 "Ventilation af installationsrum for luftkølede kompressorer".

Effekt-behov P [kW]	Krævet ventilatorydelse \dot{V}_v [m ³ /hr]
4.0	1800
5.5	2270
7.5	3025
11.0	3700
15.0	4900
18.5	6000
22.0	7000
30.0	9500
37.0	11000
45.0	14000
55.0	17000
65.0	20000
75.0	23000
90.0	28000
110.0	34000
132.0	40000
160.0	50000
200.0	62000
250.0	70000

10.3.5.2 Krævet indsugningsåbning ved mekanisk ventilation

Ved mekanisk ventilation, er det udluftningsventilatoren, der er bestemmende for afgangsluftåbningens størrelse.

Den nødvendige åbning for en udsugningsventilator er i reglen meget mindre end ved naturlig ventilation.

Størrelsen af tilgangsåbningen A_{IND} afhænger af ventilatorens ydelse \dot{V}_V og den maksimale strømningshastighed v_s i tilgangsåbningen.

Der bør regnes med en hastighed på $v_s = 3 \text{ m/s}$. Opstår der bygningsmæssige problemer ved størrelsen af åbningen beregnet med førnævnte hastighed, så er også en hastighed på $v_s = 5 \text{ m/s}$ tilladelig.

Mindstestørrelsen af tilgangsåbningen beregnes ved hjælp følgende formel:

$$A_{IND} = \frac{\dot{V}_V}{3600 \times v_s}$$

$$m^2 = \frac{m^3/hr}{3600 \text{ s/h} \times m/s}$$

A_{IND} = Mindste areal for tilgangsåbning [m²]

\dot{V}_V = Ventilatorydelse [m³/h]

v_s = Maks. strømningshastighed [m/s]

Bemærk

Ved valg af ventilator(rer), må det erindres, at køleluftstrømmen er underkastet de samme fysiske love som trykluft. Når køleluften strømmer gennem kanaler og åbninger, udsættes den ved stigende strømningshastighed for modtryk, og Δp (Tryktabet) stiger. En ventilator kan kun overvinde et dynamisk tryk, der ligger under dens angivne overfladetryk. Er det dynamiske tryk højere end ventilatorens overfladetryk, kan der ikke opnås en volumenstrøm.

Det maksimale dynamiske tryk bestemmes på grundlag af form og størrelse af til- og afgangsåbningerne sammen med de respektive kanaler, hvis de er monteret. Strømningshastigheden må også tages med i betragtning

$\Delta p = 100 \text{ Pa (10 mm VS)}$ kan anvendes skønsomt for simple åbninger uden generende ledning, som f.eks. kanaler.

Kompressor rummet

10.3.5.3 Eksempel på kunstig ventilation af et kompressoranlæg

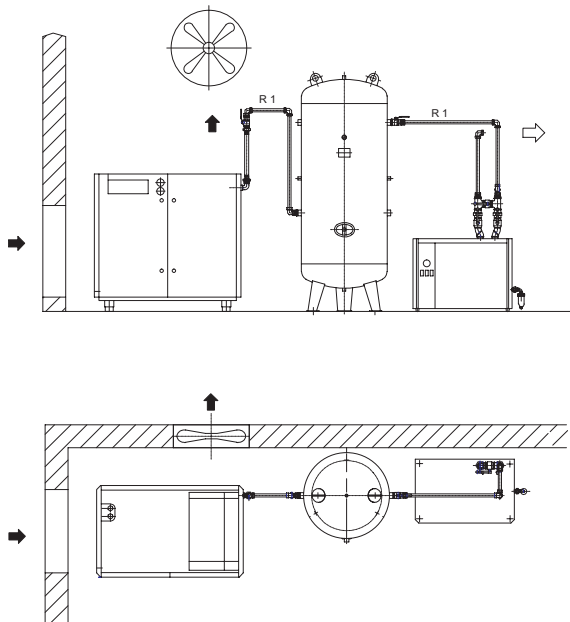


Fig. 10.8 :
Kompresor anlæg med skruekompressor,
trykluftkøletørrer og trykluftbeholder

En skruekompressor type S 21, skal i drift sammen med en trykluft køletørrer D 27 i et mindre kompressorrum. Bygningsmæssige forhold forhindrer anvendelse af naturlig ventilation. Anvendelse af kunstig ventilation er derfor påkrævet.

Skruekompressor, type S 21

Ydelse \dot{V} : 2.42 m³/min

Motoreffekt : 15 kW

Krævet køleluft \dot{V}_{V1} : 4900 m³/hr (Se side 178)

Trykluft køletørrer, type D 27

Strømningsvolumen \dot{V} : 2.66 m³/min

Krævet køleluft \dot{V}_{V2} : 770 m³/min (Se datablad)

De to køleluftstrømme skal lægges sammen. Resultatet er den nødvendige ventilatorydelse, der skal være til stede i kompressor rummet.

Ventilatorydelse $\dot{V}_{V_{\text{tll}}}$: 5670 m³/hr

Størrelsen af den nødvendige tilgangsåbning beregnes ved hjælp af ventilatorydelsen $\dot{V}_{V_{\text{tll}}}$ og den maksimale strømningshastighed $v_s = 3 \text{ m/s}$:

$$A_{\text{IND}} = \frac{\dot{V}_{V_{\text{tll}}}}{3600 \times v_s}$$

$$A_{\text{IND}} = \frac{5670}{3600 \times 3}$$

$$A_{\text{IND}} = 0.525 \text{ m}^2$$

A_{IND} = Tilgangsåbningens mindste areal [m²]

$\dot{V}_{V_{\text{tll}}}$ = Ventilatorydelse [m³/hr]

v_s = Maksimal strømningshastighed [m/s]

En ventilator med en ydelse på 5670 m³/h, skal installeres i kompressor rummet (Det dynamiske tryk af ventilationsåbningerne må tages med ved valget af ventilatoren). Tilgangsåbningen A_{IND} skal have en størrelse på mindst 0.525 m².

10.3.6 Cirkulation af køleluft med til- og afgangskanaler

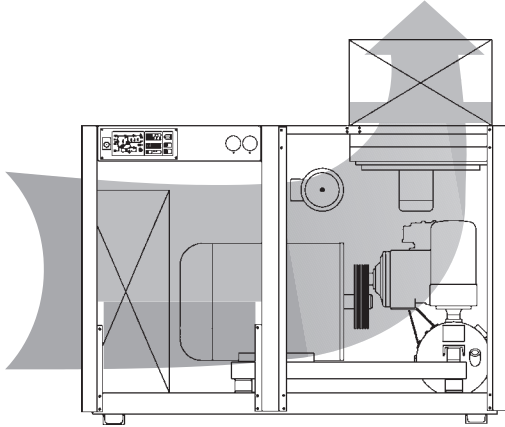


Fig. 10.9 :
Cirkulation af køleluft i en skruekompressor i serie S 21 - S 150

Cirkulationen af køleluft gennem til- og afgangskanaler er en løsning på de termiske problemer i et kompressorrum.

Ved lyddæmpede kompressorer er det muligt at anvende kanalventilation. Køleluften ledes hen over kompressoren og bortledes samlet. Skruekompressorer kan udstyres med en køleventilator, der yder et statisk tryk på ca. 60 Pa (ca. 6 mm VS). Det betyder, at kompressoren kan presse afgangsluften gennem en lige afgangskanal på ca. 5 m længde, som har det anbefalede tværsnit.

Kanalerne kan problemløst tilsluttes åbningerne i lyddæmpningskabinettet. Under normale forhold er det ikke nødvendigt at installere en supplerende ventilator for afgangsluften.

Køleluftkanalerne fører luften direkte ud i det fri. Men de kan også forsynes med en spjældstyring, så den varme afgangsluft kan anvendes til rumopvarmning om vinteren. Hvis kompressorrummet er uopvarmet, kan det være en fordel om vinteren, at bruge luftcirkulationssystemet ved at lede en del af den op-varmede køleluft til opvarmning af rummet.

10.3.6.1 Luftindsugningskanaler

I princippet er det også muligt at lede tilgangskøleluften til kompressoren gennem kanaler. En sådan kanalisering vil imidlertid reducere tilgangsluftstrømmens volumen og derved få en negativ effekt på kompressorens ydelse. Køleluft bør kun kanaliseres i følgende tilfælde:

- Snavsede omgivelser.
Tilgangsluften omkring kompressoren indeholder meget snavs, støv, kemiske forureninger eller har en meget høj luftfugtighed. Under disse forhold bør luften tages direkte fra det fri eller fra en renere del af bygningen.
- Høj omgivende temperatur.
Temperaturen på kompressorens opstillingssted er betydeligt højere end i tilstødende rum eller i det fri. Dette er f. eks. muligt, når der afgives væsentlige varmemængder af andre anlæg eller maskiner anbragt i kompressor rummet.

Kompressor rummet

10.3.6.2 Ekstraktion af luft gennem en køleluftkanal

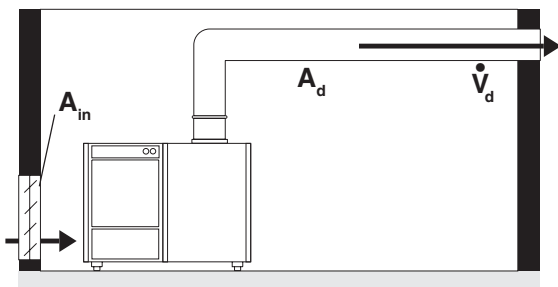


Fig. 10.10 :
Ekstraktion af køleluft fra et kompressor rum med en skruekompressor og bortledning gennem en køleluftkanal til det fri.

10.3.6.3 Krævet køleluftmængde \dot{V}_d og tværsnit af kanal A_d ved brud af køleluftkanal

Kompressorrum med et enkelt anlæg kan i reglen køles af en til opgaven dimensioneret afgangsventilator eller med naturlig ventilation. Når der er opstillet flere kompressorer i samme kompressorrum, anbefales det altid at anvende køleluftkanaler.

Med installerede ventilationskanaler, bliver kompressorrummet ikke opvarmet så meget af kompressorens spildvarme.

Differenstemperaturen Δt mellem til- og afgangsluften er ca. 20° K. Strømningshastigheden i afgangskanalerne må ikke være over 6 m/s. De anvendte kanalers tværsnit (Radius) er derfor meget mindre end de i væggene anbragte åbninger for naturlig eller kunstig ventilation.

De i nedenstående tabel angivne værdier for krævet køleluftstrøm \dot{V}_{A} , er baseret på VDMA Specifikationsblad 4363 "Ventilation af installationsrum for luftkølede kompressorer". I dette tilfælde forudsættes en kølelufttemperatur på $\Delta t = 20^\circ \text{ K}$.

Beregningen for fastlæggelse af tværsnittet af kanal A_d er baseret på et maksimalt modtryk på 50 Pa (5 mm VS). Dette svarer til en tilsvarende lige kanal på ca. 5 m, uden bøjninger, reduceringer eller indbyggede komponenter, og en strømningshastighed på 4 – 6 m/s.

Effekt-rating P [kW]	Krævet køleluft-strøm med afgangskanal \dot{V}_d [m³/hr]	Krævet frit kanal-tværsnit A_d [m²]
4.0	800	0.08
5.5	1000	0.10
7.5	1300	0.13
11.0	1700	0.13
15.0	2900	0.15
18.5	4500	0.23
22.0	4500	0.26
30.0	4500	0.33
37.0	6500	0.41
45.0	6500	0.48
55.0	8000	0.59
65.0	8600	0.64
75.0	9200	0.68
90.0	16000	0.85
110.0	16000	1.11
132.0	24400	1.24
160.0	24400	1.61
200.0	27800	2.06
250.0	33600	2.49

10.3.6.4 Information om ventilation med kanaler

I ventilationskanaler forårsager alle indvendigt indbyggede dele, såsom forgreninger, filtre, jalousiespjæld, bøjninger, T-stykker og lyddæmpere, en stigende strømningsmodstand og er derfor en hindring for luftstrømmen. Hvis kanalen er udstyret med mange af disse hindringer og er meget lang, må størrelsen af det anbefalede tværsnit, kontrolleres af en ekspert.

For hindring af brandes spredning gennem ventilationskanaler, findes særlige forskrifter fra beredskabsstyrelsen. Det omfatter bl. a. installation af automatiske brandsikringsklapper, når en ventilationskanal passerer gennem en væg. De nyeste regler fås ved henvendelse til beredskabsstyrelsen.

Hvis ventilationskanalen er lang og strømningsteknisk set, ugunstigt monteret kan modtrykket ligge over 50 Pa (5 mm VS). I dette tilfælde kan en skruekompressors ventilator ikke mere overvinde modtrykkets i kanalen. Det betyder, at køleluftstrømmen standser og kølingen af kompressoren bryder sammen. I så fald skal der installeres en supplerende ventilator.

Køleluft til- og afgangsklapperne, bør af økonomiske årsager, styres af en termostat anbragt i kompressor rummet.

Køleluftkanalerne må aldrig monteres direkte på kompressorens kabinet. Mellemsykker (Kompensatorer), der optager spændinger og hæmmer overførslen af vibrationer, skal altid anvendes.

En køleluftkanal forsynet med lyddæmpningsmateriale, overfører mindre strålevarme til omgivelserne og dæmper også lyde, som overføres sammen med køleafgangsluften fra kompressoren.

Det anbefales generelt, at opgaven med dimensionering af ventilationskanalerne og deres fagligt perfekte installation overlades til et specialfirma.

Ved installation med flere kompressorer, skal hver enkelt kompressor have sin egen køleluft til- og afgangskanal.

På en samlekanal for flere kompressorer, skal der installeres automatiske kontraspjæld, der forhindrer en opvarmet køleluftstrøm i at strømme over en frakoblet kompressor og ud i kompressorrummet. Den opvarmede køleluftstrøm kan blande sig med den indstrømmende tilgangsluft.

Kompressor rummet

10.3.6.5 Dimensionering af kølelufttilgang ved anvendelse af en afgangskanal

Størrelsen af kølelufttilgangen A_{IND} afhænger af køleluftstrømmen \dot{V}_d og den maksimale strømningshastighed v_s i selve tilgangsåbningen.

Der bør regnes med strømningshastighed på $v_s = 3 \text{ m/s}$. Skulle det vise sig, at der ved beregningen fremkommer byggemæssige problemer med hensyn til tilgangsåbningens størrelse, er det også muligt at anvende en strømningshastighed på $v_s = 5 \text{ m/s}$.

Ved hjælp af følgende formel beregnes den mindst mulige tilgangsåbning:

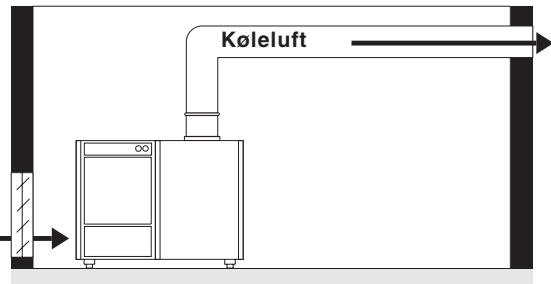
$$A_{\text{IND}} = \frac{\dot{V}_d}{3600 \times v_s}$$
$$\text{m}^2 = \frac{\text{m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s/h} \times \text{m/s}}$$

A_{in} = Minimalt areal af tilgangsåbning [m²]

\dot{V}_d = Ventilatorydelse [m³/h]

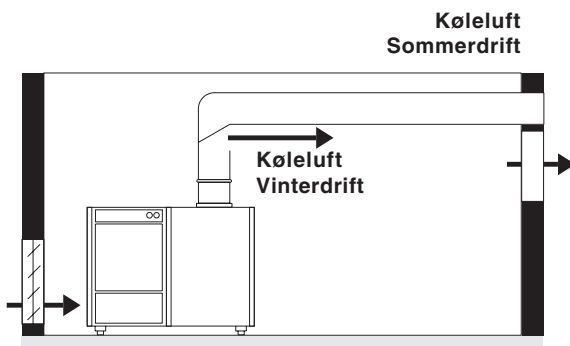
v_s = Maksimal strømningshastighed [m/s]

10.3.6.6 forskellige former for kanalventilation



Kanalen leder den opvarmede køleluft direkte til det fri. Denne måde kan anbefales ved høje temperaturer i kompressorrummet.

Fig. 10.11 :
Ekstraktion af køleluft gennem kanal til det fri



Afgangskanalen leder den opvarmede køleluft direkte til det fri. Når temperaturen i kompressor rummet er lav, tilføres supplerende opvarmet køleluft til det kolde rum ved hjælp af et cirkulationsspjæld, der forebygger, at anlægget fryser ved udendørstemperaturer under Nul. Det anbefales også, at installere en stilstandsvarmer til forebyggelse af at kompressoren fryser til under stilstand, og samtidig undgås koldstart.

Fig. 10.12 :
Afgangskanal med omløbsspjæld

Når denne metode anvendes, er det nødvendigt, at der indrettes yderligere en afgangsåbning, der er tilpasset køleluftstrømmen.

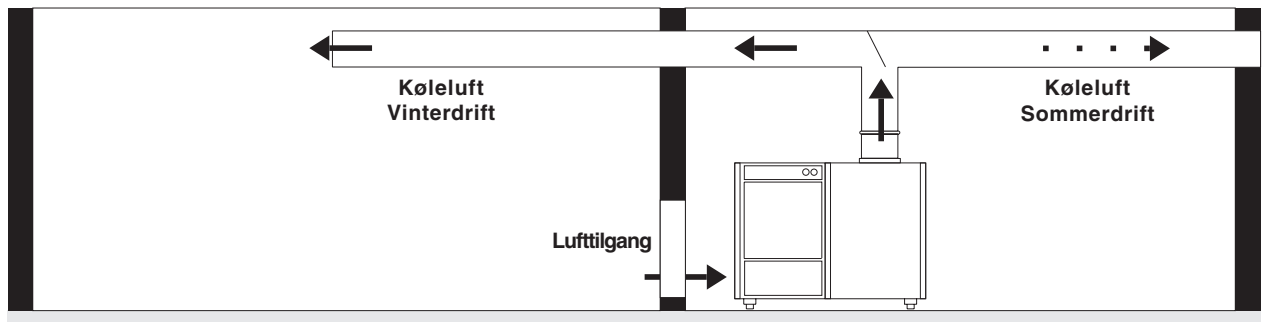


Fig.10.13 :
Varm køleluft for opvarmning

Når udendørs temperaturen er kold (Vinter), leder kanalen hele eller en del af den opvarmede køleluft fra kompressoren til opvarmning af andre rum i bygningen. Når udendørs temperaturen er varmere (Sommer), afgiver kanalen luften direkte til det fri.

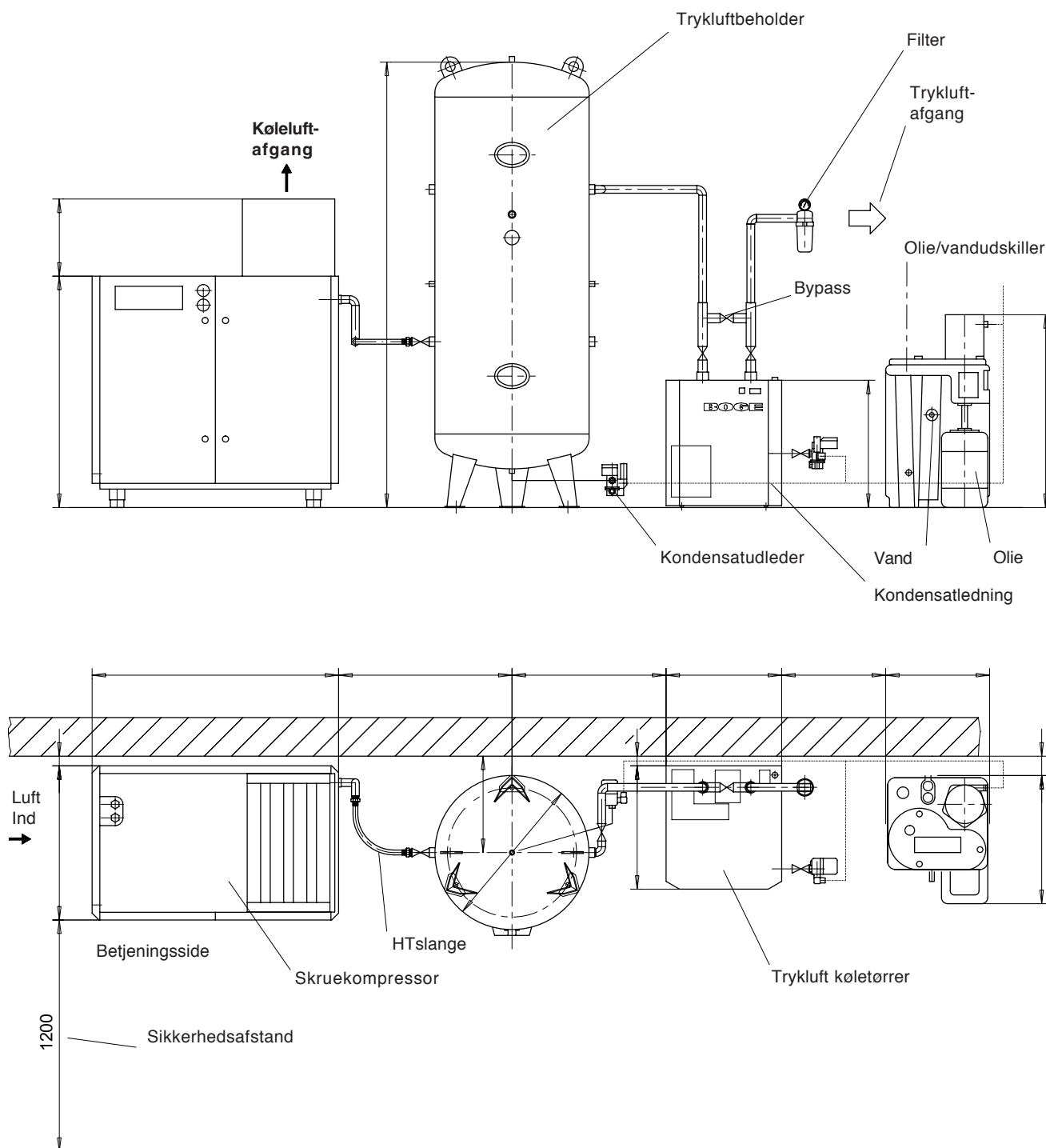
På denne måde, hentes tilgangsluften for det meste fra opvarmede rum. Dette garanterer, at køleluften er varm nok, når den omgivende lufttemperatur er lav. På denne måde arbejder kompressoren altid over den lavest tilladte driftstemperatur.

Luftfiltre og lyddæmpere bør monteres i afgangskanalen for nedsættelse af støv og støj i de opvarmede lokaler.

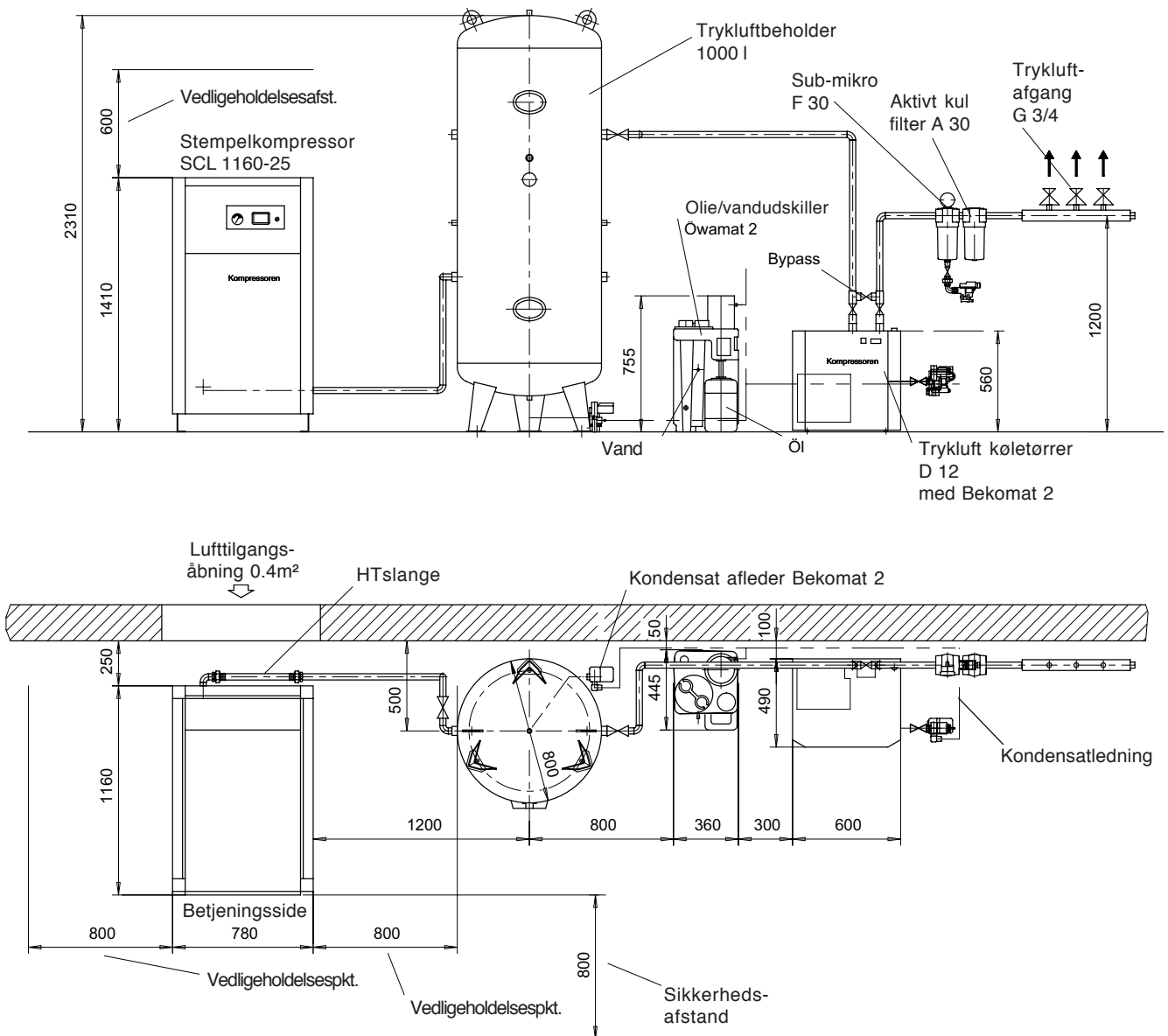
Kompressor rummet

10.4 Eksempler på arrangementsplaner

10.4.1 Installation af en skruekompressor



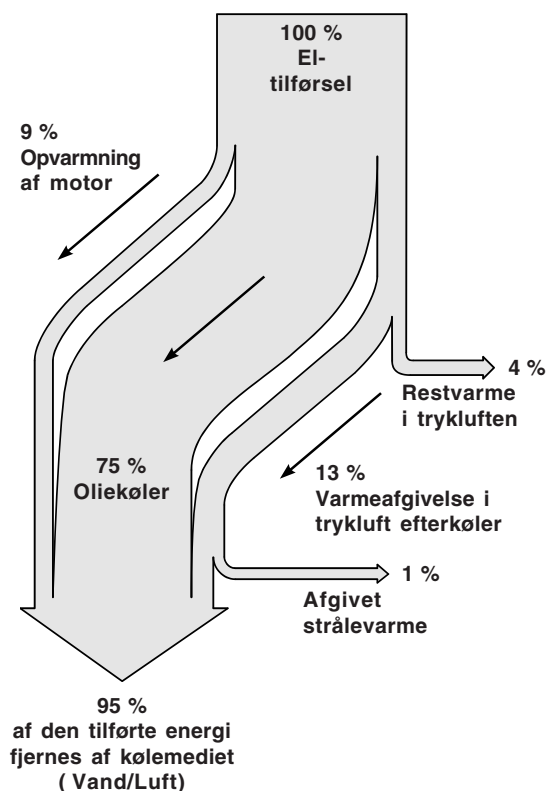
10.4.2 Installation af en stempelkompressor



11. Varmegenvinding

Stigende energiomkostninger og miljøhensyn, har betydet, at mange tryklufforbrugere er overbevist om, at det enorme potentiale der ligger i kompressor spildvarmen, ikke mere må forsvinde uudnyttet. Dette medførte udvikling af effektive varmegenvindingsanlæg. Siden er kompressor spildvarmen blevet nyttiggjort. Den bruges til rumopvarmning, og til opvarmning af brugsvand eller til centralvarme.

11.1 Varmebalancen af et kompressoranlæg



Til bedømmelse af varmegenvindings mulighederne ved kompressoranlæg, må der tages hensyn til den første termodynamiske grundsætning. Grundsætningen siger, at den samlede tilførte elektriske effekt omdannes til varme. For at få en økonomisk udnyttelse af denne varme, er det nødvendigt at vide, hvor denne varme optræder og hvilke dele af varmen der kan udnyttes økonomisk, baseret på genvinding.

Varmen vil altid blive fjernet ved hjælp af et kølemiddel. Dette kølemiddel optager ca. 95 % af den tilførte elektriske energi i form af varme. Ca. 4% forbliver som restvarme i trykluft og ca. 1% går tabt på grund af varmestråling til den omgivende atmosfære.

Ved opstilling af en varmebalance, skal man ikke alene benytte motorens tilførte effekt, som kompressoren anvender til komprimering af luften. Motoren selv omdanner også elektrisk energi til varme. Man skal desuden tage hensyn til motorens virkningsgrad, der ligger mellem 80 til 92 %. Dette forøger yderligere den opstående spild-varmemængde.

Fig. 11.1 :
Varmefordeling i en skruekompressor med olieindsprøjtet køling

11.2 Rumopvarmning

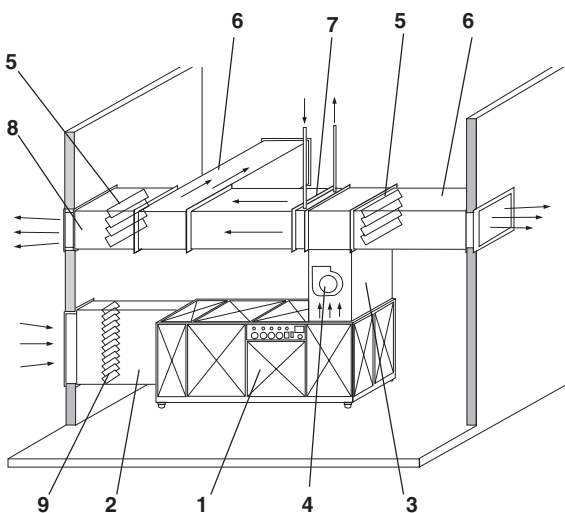
Den mest nærliggende udnyttelse af kompressorspildvarmen er rumopvarmningen.

Ved den letteste metode for rumopvarmning, opstilles kompressoren i rummet, der skal opvarmes. Det vil sige, at kompressoren placeres direkte i et værksted eller lagerrum. Kompressoren placeres for det meste nær arbejdspladser, hvor den gør mest gavn.

I dette tilfælde er det kun nødvendigt at installere kanaler til bortførelse af varmen fra opstillingsrummet i den varme sommerperiode. Selve opvarmningsluften må ikke tilføres gennem lange lange luftkanaler.

Det skal sikres, at kompressoren får den nødvendige køleluftstrøm. På grund af de gældende miljøbestemmelser, er det i reglen næsten uundgåeligt, at der ikke anvendes lyddæmpere i luftkanalerne.

11.2.1 Rumopvarmning gennem kanaler



- 1 = Lyddæmpet kompressor
- 2 = Tilgangskanal
- 3 = Afgangskanal
- 4 = Supplerende afgang-sugeventilator
- 5 = Styreklapper
(Styret termostatisk)
- 6 = Afgangskanal
(Rumopvarmning)
- 7 = Varmeveksler
- 8 = Luftafgangskanal
(Til det fri, for sommerdrift)
- 9 = Lufttilgangsklapper

Udnyttelse af spildvarmen fra et centralt kompressoranlæg kræver først og fremmest, at den opvarmede luft føres i kanaler til rummene, der skal opvarmes. Et sådant anlæg kan dog kun anbefales i forbindelse med større kompressorer, da små kompressorer ikke afgiver den fornødne varmemængde..

Køleluftstrømmen passerer henover kompressoren og dennes drivmotor, og optager den afgivne varme. Ved hjælp af en sugeventilator føres luftstrømmen ind i opvarmningskanalsystemet. Normalt vil køleluftstrømmen under passagen blive opvarmet til mellem +50° / +60° C.

Udnyttelsen af kompressorvarmen forudsætter anvendelse af en kapslet (Lyddæmpet) kompressor med kanaliseret køleluftgennemstrømning. Alle skruekompressorer i standardudførelse, er lyddæmpede og forsynet med en intern ventilator. De kan derfor uden problemer tilsluttes et opvarmningskanalsystem. Ikke -lyddæmpede kompressorer (f. eks. de fleste stempelkompressorer) kan suppleres med en passende lyddæmpningskappe og anvendes til opvarmningsformål.

Fig. 11.2 :
Driftsdiagram for kanalsystem

11.2.2 Drift af rumopvarmning

Ved kolde udendørs temperaturer leder isolerede kanaler den varme køleluft fra kompressoren eller kompressorerne ind i bygningen. Derved opvarmes de pågældende rum. Ved høje udendørs temperaturer leder kanalen luften direkte til det fri.

Køleluftstrømmen styres både af tilgangs- og styreklapper. Styringen af disse klapper og ventilatorer, bør ske ved hjælp af justerbare rumtermostater, som overvåger temperaturen i det opvarmede rum.

Til forhindring af brandudbredelse, skal de af brandvæsenet krævede sikkerhedsforanstaltninger, med hensyn til indbygning af selvlukkende brandklapper i kanalerne, følges nøje når disse går gennem murværk. Beredskabscentre giver alle nærmere oplysninger herom.

Det er muligt at anbringe varmevekslere i kanalerne. Ved hjælp af disse er det muligt at opvarme vand til ca. +40° C. Dette varme vand kan anvendes som aflastning for et centralvarmesystem eller anvendes som brugsvand.

11.2.3 Rumopvarmningsens økonomi

Installationsomkostningerne for rumopvarmningen, kan, i forhold til de sparede energiomkostninger, løbe op i et relativt stort beløb. Man må derfor, før man installerer en bekostelig rumopvarmning, nøje kontrollere hvor meget spildvarme der egentligt står til rådighed, som kan berettige de nødvendige omkostninger. Det må også tages med i betragtningen, at et system med lange kanalafstande vil blive afkølet. Det investerede beløb skal stå i det rette forhold til den opnåede besparelse.

Besparelsen øges samtidig med kompressoren driftstider. Har man mere kontinuerlig drift, betyder det en mere effektiv rumopvarmning.

11.3 Duotherm varmeveksleren

11.3.1 Duotherm BPT

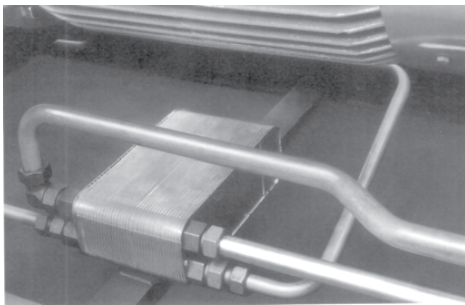
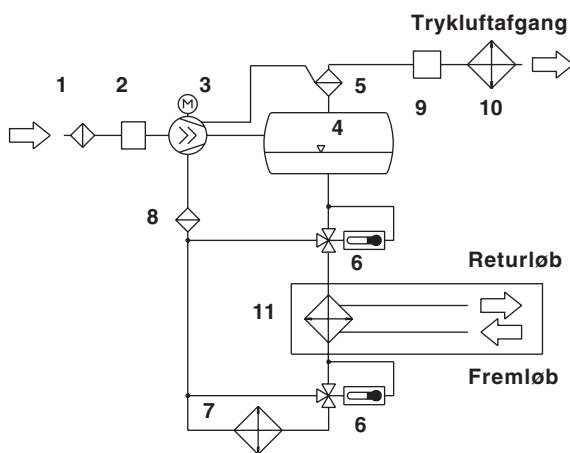


Fig. 11.3 :
Varmegenvindingssystemet
Duotherm BPT



- 1 = Sugefilter
- 2 = Sugeregulator
- 3 = Kompressorenhed
- 4 = Kombineret Trykluft/Oliebeholder
- 5 = Oleiudskiller
- 6 = Termostatisk oliestyreventil
- 7 = Oleikøler
- 8 = Oliefilter
- 9 = Min. tryk/kontraventil
- 10 = Trykluft efterkøler
- 11 = Varmevexsler

Fig. 11.4 :
Strømningsdiagram for en Duotherm BPT

Til skruekompressorer med olieindsprøjtet køling findes specielle varmegenvindingssystemer for opvarmning af brugs- eller varmtvand. En varmeveksler skydes ind i kompressorens hovedstrøm af varm olie. Brugs- og varmtvand opvarmes af den varme kompressorolie.

Duotherm varmeveksleren arbejder uafhængigt af kompressorens kølemetode, da varmeveksleren installeres som en forkøler for den egentlige luft- eller vandkøling til kompressoren.

For opvarmning af centralvarme- eller produktionsvand anvendes Duotherm BPT-systemet. Kernen i systemet er en pladevarmeveksler, som består af en række tynde, profilerede rustfri stålplader. De sammenlagte plader danner et gensidigt mod hinanden lukket to-kanalsystem. Ved hjælp af en kobberlodningsteknik forbindes de lagdelte plader med hinanden. Pakninger, som indebærer muligheder for lækager, er hermed overflødige. Den færdige varmeveksler virker derfor effektiv og driftssikker.

Funktionsprincip

Den ca. +90° C opvarmede olie i kompressorens olierekreds løb strømmer gennem plade-varmeveksleren. Det i modsat strømningensretning tilførte vand opvarmes til ca. +70° C. Den opvarmede vandmængde er afhængig af differens-temperaturen og pladevekslerarealet.

Før og efter varmeveksleren er der installeret en termostatisk oliestyreventil. Afhængigt af olietemperaturen, ledes oliestrømmen enten gennem oliekoøleren eller varmeveksleren. Oliestrømmen kan også ledes gennem et omløb ved oliekoøleren resp. varmeveksleren.

Egenskaber

- Når afspæringsventilerne for vand til- og afgang er lukket samtidigt, opstår et lukket rum. Opvarmes vandet i dette rum, ekspanderer vandet og trykket stiger. For at forebygge beskadigelser på plade-varmeveksleren, skal der derfor installeres en ekspansionsbeholder med sikkerhedsventil.
- Hvis vandet er meget snavset, skal der installeres en snavssamler med en maksimal porevidde på 0,6 mm i vandtilgangsledningen.
- Der skal anbringes spuletilslutninger for rensning af varmeveksleren.
- Plade-varmeveksleren er normalt anbragt i kompressor-kabinettet. Varmevexsleren kan dog opstilles separat eller eftermonteres.

Varmegenvinding

11.3.2 Duotherm BSW

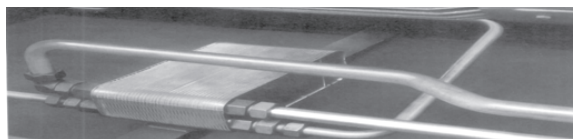
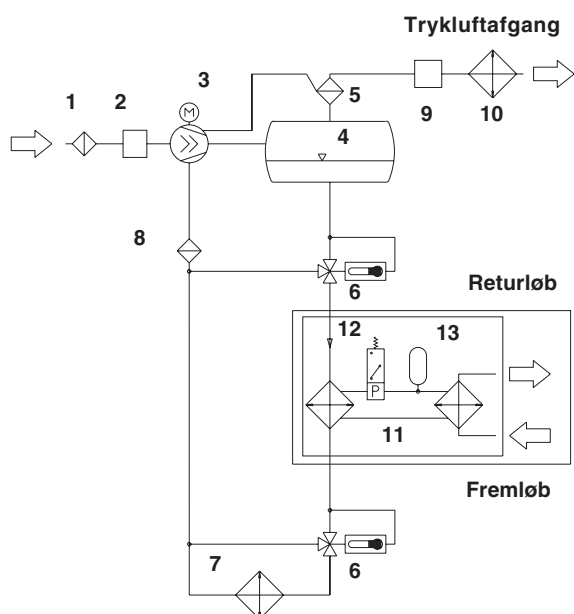


Fig. 11.5 :
Varmegenvindingssystemet
Duotherm BSW

Duotherm BSW-Systemet anvendes til opvarmning af drikke- og brugsvand. Da der foreligger regler i forbindelse med drikkevandsforsyningen, er det en sikkerhedsvarmeveksler. To uafhængige kredsløb er adskilt af en spærrevæske.

BSW-Systemet er en rørvarmeveksler, hvor to rør er placeret berøringsfrit ind i hinanden. Det i dette dobbelte rørbundt dannede sikkerhedsrum, er fyldt med en ikke giftig spærrevæske. Spærrevæsken overfører varmen og ved beskadigelse af varmeveksleren, forhindrer den, at olien kan blande sig med vandet. En kontaminering af drikkevandet er dermed udelukket.

En rørbrudspressostat aktiveres omgående ved lækager i systemet. Den afgivne impuls kan anvendes til f.eks. en alarm eller lukning af hele systemet.



- 1 = Sugefilter
- 2 = Sugeregulator
- 3 = Kompressorenhed
- 4 = Kombineret trykluft/oliebeholder
- 5 = Olieudskiller
- 6 = Termostatisk oliestyreventil
- 7 = Oliekøler
- 8 = Oliefilter
- 9 = Min. tryk/kontraventil
- 10 = Trykluft efterkøler
- 11 = Sikkerheds varmeveksler
- 12 = Pressostat for overvågning af rørbrud
- 13 = Ekspansionsbeholder

Funktionsprincip

Olien fra kompressorkredsløbet der er opvarmet til ca. +90° C strømmer gennem et rørbundt. Spærrevæsken overfører varmen til opvarmning af brugsvandet i det andet rørbundt. Vandet der i modstrøm passerer gennem det andet rørbundt opvarmes til ca. 55° C. Vandmængden der opvarmes, afhænger af temperatordifferensen. Det opvarmede vand føres til et reservoir (Varmtvandsbeholder), hvorfra det tilføres varmtvandsrørnettet.

Før og efter varmeveksleren er der installeret en termostatisk oliestyreventil. Afhængigt af olietemperaturen ledes oliestrømmen enten gennem oliekoøleren henholdsvis varmeveksleren eller oliestrømmen føres udenom af et omløb ved oliekoøler eller varmeveksler.

Features

- Rørbrudspressostaten skal indstilles på et tryk, der er mindst 20% under det mindste tryk af de anvendte medier.
- Driftsbetingelser
 - Minimum vandtryk 0,5 bar
 - Maksimum vandtryk 16 bar
 - Maksimum olietryk 16 bar
 - Maksimalt tryk af spærrevæske 10 bar
 - Maksimum temperatur (Olie og vand) +100° C
- Overskridelse af maksimal temperaturen fører til funktionsfejl og udløser en fejlalarm.
- Afhængigt af BSW sikkerhedsvarmeveksleren dimensioner installeres den i kompressor kabinettet. Den kan også opstilles separat eller eftermonteres.

Fig. 11.6 :
Strømningsdiagram for en Duotherm BSW

11.3.3 Hvor stor er energibesparelsen ?

Duotherm-Systemet stiller 75 % af den kompressoren tilførte elektriske effekt til rådighed. Der menes den spildvarme der tilføres kompressorens olie.

De i tabellen angivne værdier for den nyttiggjorte varme- og vandmængde, er beregnet på basis af energibesparelses begunstigelser i Tyskland samt almentgyldige tekniske læresætninger om varmeoverførsel. I princippet gælder de for begge Duotherm systemer. Ved anvendelse af Duotherm BWT systemet er en opvarmning af brugsvand til +55° C uøkonomisk, da den opvarmede vandmængde er for lille.

De angivne værdier forudsætter kontinuerlig drift, og der er ikke taget hensyn til varmetab, da de lokale driftsforhold er for forskellige. Beregningen af opvarmnings- omkostninger er baseret på normal oliefyrsdrift :

- Specifik varmeværdi H for fyringsolie 38.0 MJ/l
- Oliepris 1,52 DKK/l
- Virkningsgrad 75 %
- Driftstimer 1000 h

Driv-effekt [kW]	Afgivet kraft [kW/h]	Brugbar varme-mængde [MJ/h]	Vandmængde ved			Besparelse, driftstid 1000 h [DKR]
			Δt 25 K 313 @ 338 K [m ³ /h]	Δt 35 K 293 @ 328 K [m ³ /h]	Δt 50 K 293 @ 343 K [m ³ /h]	
11.0	8.9	32.0	0.305	0.217	0.152	1706.-
15.0	12.3	44.2	0.420	0.300	0.210	2356.-
18.5	14.8	53.2	0.509	0.363	0.255	2835.-
22.0	17.7	63.7	0.609	0.435	0.305	3397.-
30.0	24.4	87.8	0.835	0.596	0.417	4682.-
37.0	30.3	109.0	1.040	0.743	0.520	5814.-
45.0	37.7	135.7	1.295	0.925	0.647	7239.-
55.0	45.5	163.8	1.565	1.118	0.782	8740.-
65.0	54.9	197.6	1.885	1.346	0.942	10526.-
75.0	63.1	227.1	2.170	1.550	1.085	12110.-
90.0	74.0	266.4	2.545	1.818	1.272	14212.-
110.0	90.0	324.0	3.095	2.210	1.547	17278.-
132.0	110.5	397.0	3.800	2.714	1.900	21166.-
160.0	133.5	480.6	4.590	3.278	2.295	25631.-
200.0	168.3	605.8	5.790	4.136	2.895	32300.-
250.0	208,9	752,0	7,180	5,128	3,590	40090,-

11.4 Afsluttende bemærkninger om varmegenvinding

Kompressorer giver muligheder for besparelse af energi og omkostninger ved udnyttelse af spildvarmen. Det er imidlertid ikke tilrådeligt, at udnytte varmen fra selv den mindste kompressor. Udgifterne lønner sig i reglen først ved større skrue- og stempelkompressorer eller anlæg med flere kompressorer.

Investeringsbeløbet for et varmegenvindingssystem afhænger meget af de stedlige bygningsmæssige forhold. Man må tage dette i betragtning, da disse forhold har en stor indflydelse på tilbagebetalingstiden af et sådant anlæg.

Der skal endvidere træffes en principbeslutning, om spildvarmen skal anvendes til rumopvarmning eller til brugs- eller varmtvandsopvarmning. Rumopvarmning anvendes sjældent om sommeren.

Kompressorens driftstimer spiller også en væsentlig rolle. Er der mere driftstid bliver den økonomiske gevinst større ved at udnytte spild-varmen. Det gælder især når denne er kontinuerligt og til rådighed i rigelige mængder.

I hvert fald bør der før installation af et varmegenvindingsanlæg foretages en undersøgelse af varmeforbruget til det formål, som anlægget skal anvendes for. Denne betragtning skal så sammenlignes med den gennemsnitlige driftstid af kompressor-anlægget.

Ved en sådan sammenligning træder den økonomiske fordel frem og giver samtidigt et billede af om varmeforbruget kan dækkes, eller det vil være nødvendigt at installere et andet varmesystem.

12. Lyd

12.1 Lydens egenskaber

12.1.1 Opfattelse af lyd

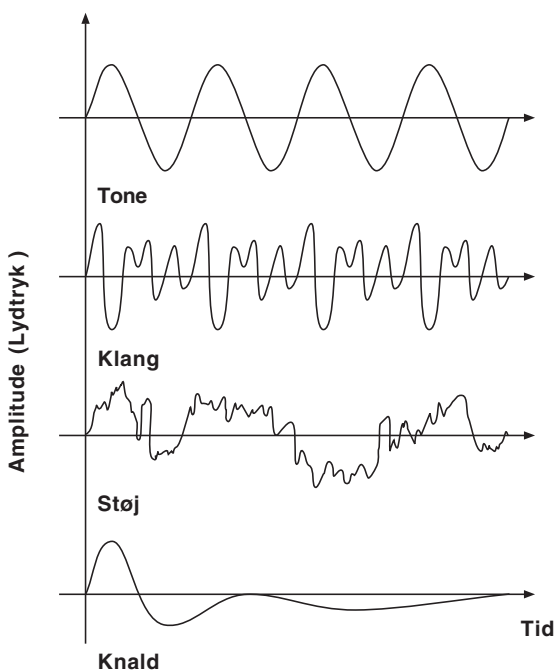


Fig. 12.1 :
Lydindtryk

Lydbølger er mekaniske svingninger fra et elastisk medie. Med udgangspunkt i en lydkilde, f. eks. et svingende legeme, udbreder de sig i faste legemer, væsker og gasser i form af trykssvingninger. (Lydbølger). Læren om lyden kaldes akustikken.

Svingende legemer i alle tilstande og former kan overføre lydbølger. De betegnes som lydkilder. Det kan være strenge, stave, plader, luftsøjler, maskiner og meget andet.

Overføres svingningerne til den omgivende luft taler man om **luftbåren lyd**.

De svingende legemer, gasser eller væsker, kan også overføre svingningerne til faste objekter. I dette tilfælde er der tale om **strukturelbåret lyd**.

Mellem de fra en lydkilde udgående luftbårne svingninger og den menneskelige lydopfattelse består af følgende sammenhæng:

Svingningernes amplitude

Amplituden er den periodisk optrædende trykafvigelse, der opstår i en lydbølge.

Den svarer til den menneskelige følelse af lydstyrken af et lydindtryk.

Svingningernes frekvens

Frekvensen er antallet af trykssvingninger indenfor et givet tidsrum. De angives normalt som **Hz/s** (Svingninger per sekund).

Frekvensen svarer til den menneskelige fornemmelse af tonehøjden af et lydindtryk.

Svingningsformer

Der skelnes mellem forskellige svingningsformer, som fremkalder forskellige lydindtryk:

- Tone.
En tone (ren tone) er en sinussvingning.
- Klang.
En klang er flere over hinanden liggende toner. Flere sinusformede svingninger ligger over hinanden og danner en ikke sinusformet svingning. Tonen med den laveste frekvens bestemmer den samlede opfattelse af tonehøjden. De andre toner (overtoner) fremkalder indtrykket af en klangfarve.
- Støj.
En støjende lyd er en uregelmæssig svingning. Det er en blanding af mangfoldige frekvenser med forskellig størrelsesorden.
- Knald.
Et knald er et enkelt, kort og kraftigt lydindtryk.

12.2 Væsentlig terminologi om akustik

12.2.1 Lydtryk

Lydtrykket \tilde{p} er den periodiske trykafvigelse (Over- og undertryk, samt mellemliggende), som optræder i en lydbølge. Det opgives i **Pa** (10^{-5} bar).

I gasformede medier ligger lydtrykket over det forhåndenværende gastryk **p**. Lydtrykket afhænger af forskellige faktorer, f. eks. lydintensitet eller lydkilde, bygningsmæssige forhold m.m.

Lydtrykket bevæger sig mellem ca. 2×10^4 Pa ved tikken af et ur og ca. 65 Pa i umiddelbar nærhed ved start af en flyvemaskine.

12.2.2 Lydniveau

For bedre at kunne håndtere de akustiske værdier, sættes værdien af en referenceværdi sat i et bestemt forhold og omregnes til en logaritme. Niveauerne er som logaritmer af en proportional værdi. De er dimensionsløse. Til kendetegnelse heraf tilføjes betegnelsen **dB** (Decibel).

Lydtrykniveauet sættes i forhold til referencetrykket $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa og omdannes til en logaritme. Følgende gælder for lydtrykniveauet:

$$L_p = 20 \lg \frac{\tilde{p}}{p_0} \text{ dB}$$

L_p = Lydtrykniveau [dB]

\tilde{p} = Lydtryk [Pa]

p_0 = Reference lydtryk [2×10^{-5} Pa]

De andre akustiske værdier behandles på samme måde. I akustikken anvendes næsten kun niveauer for tilkendegivelse af en størrelsesværdi.

12.2.3 Lydintensitet

Lydintensiteten angiver lydenergien, som er en lydkilde, der udstråler per sekund. Det er en specifik maskinværdi (Emissionsværdi), som ved hjælp af bl. a. lyddæmpende foranstaltninger kan påvirkes.

Ved hjælp af lydintensitetsværdien for en maskine, er det muligt, under hensyntagen til afstanden til bygningsmæssige konstruktioner og andre lydkilder, at beregne den omtrentlige værdi af lydintensitet for et bestemt sted. Kostbare målinger er det ofte ikke nødvendigt at foretage.

12.3 Menneskets opfattelse af lyd

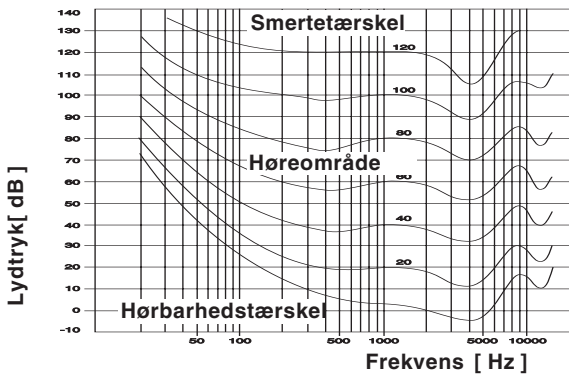


Fig. 12.2 :
Menneskets høreområde

12.3.1 Lydens intensitetsniveau (Lydstyrke)

Det menneskelige øre kan i reglen kun opfatte frekvenser fra 16 til 20000 Hz . Højere frekvenser betegnes som ultralyd, lavere som infralyd. Det hørbare lydtryk ligger mellem 10^{-5} Pa og 100 Pa. Et lydtryk på 100 Pa fører næsten altid til en øjeblikkelig ødelæggelse af den menneskelige høresans.

Den menneskelige høresans opfatter ikke de forskellige lydtryk og frekvenser med samme lydstyrke. En oversigt af de for mennesket opfattede lydtryks- og frekvensområder, fremgår af det viste høreområde. Nederste begrænsningskurve viser **høretærsklen**, og den øvre kurve viser **smertetærsklen**. Det største lydtryksområde øret opfatter, ligger ca. omkring 1000 Hz.

Lydtrykket er en fysisk værdi og kan derfor måles. Lydstyrken, som et menneske opfatter som lydtryk, er en fysiologisk værdi, der afhænger af høresansen.

Lydsstyrkeniveauet er en empirisk fastlagt værdi , der har været testet i større forsøgsrækker med forskellige mennesker. Ud fra dette er der fastlagt en gennemsnitsværdi. Lydstyrkeniveauet angives i **Fon**.

Ved 1000 Hz stemmer lydstyrkeniveauet overens med det uvurderede lydtryksniveau. Lydtryksniveauet kan ikke efterprøves med måleudstyr. Af denne årsag er sammenlignende målinger og beregninger ikke muligt og vanskeligt at gennemføre.

12.3.2 Vurderet lydniveau dB (A)

De akustiske værdier skal tilpasses opfattelsesevnen af det menneskelige øre, så de tekniske værdier er gennemførlige. Afhængigt af frekvensen bliver det reelle lydtryksniveau justeret med forskellige korrektionsværdier for en tilnærmelse til ørets følsomhed. For disse korrektionsværdier findes der internationalt godkendte vurderingskurver.

Nedenfor angives korrektionskurver for forskellige anvendelsesområder.

- A** – Vurderingskurve for $L_N = 30 - 60$ Fon.
- B** – Vurderingskurve for $L_N = 60 - 90$ Fon.
- C** – Vurderingskurve for lineært høreområde.
- D** – Vurderingskurve for støj fra flyvemaskiner.

Et vurderet lydniveau kendetegnes ved tilføjelse af et bogstav for vurderingskurven, f. eks. dB (A).

Ved støjmåling af kompressorer og maskiner anvendes normalt vurderingskurven (A). Lydmåling i henhold til DIN 45635, anvender som standard A-evaluerede lydtryksniveauer.

12.4 Lydens væsen

Lydens spredning og generelle forhold afhænger af forskellige forhold. Det må endvidere tages i betragtning at lyddannelsen fra en maskine (Lydkilden) forbliver konstant.

12.4.1 Afstand fra lydkilden

Det fra en lydkilde fremkaldte lydtryk aftager ved tiltagende afstand. Den konstante lyddenselse fra en lydkilde fordeles sig ved tiltagende afstand over et stedse større areal (Spredning). Formen af lydbølgen har derved stor betydning. Maskiner og kompressorer har normalt lydenergi i form af en halvkugle, da de i reglen er anbragt på et fast fundament.

Lydtryksniveauet falder i forhold til den ved 1 m afstand givne værdi, som angivet i nedenstående tabel:

Afstand fra lydkilden [m]	1	2	5	10	25	50	100
Lydtryksreduktion [dB (A)]	0	5	12	16	23	28	32

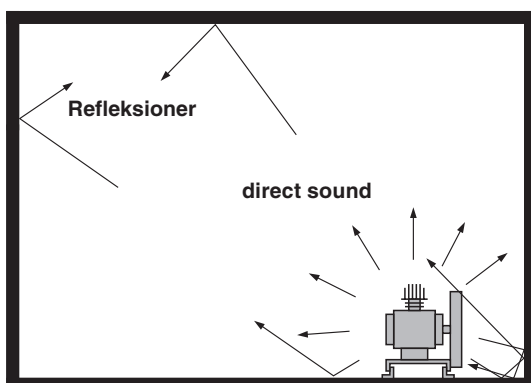
Disse omtrentlige værdier beror på en uforstyrret spredning i et frit område. En vis andel af refleksion på grund af en overfor hård lydbund, er taget med i betragtningen.

eksempel

En ultra-lyddæmpet skruekompressor S 21 er installeret i en stor hal. Iflg. DIN 45635 afgiver den et lydtrykniveau på 69 dB (A). På en afstand af 5 m falder det af kompressoren afgivne lydtrykniveau til kun ca. 57 dB (A).

En del af lyden reflekteres af væggene og andre objekter. I lukkede rum opstår der på grund af refleksionerne et diffust felt af ikke retningsbestemte lydbølger. Det generelle lydtryk i rummet bliver forhøjet af den reflekterede lyd. Denne reflekterede lyd kaldes for genlyd.

12.4.2 Refleksion og absorption



Lydhårde materialer med glatte overflader, såsom murede vægge, reflekterer en stor del af den fremkommende lyd. Overfladeformen har en stor indflydelse på refleksionerne. Udstyrer man rummet med specielt anbragte dæmpningspyramider, opstår et lyddødt rum. I sådanne rum foretages lydtryksmålinger med videnskabelig nøjagtighed.

Den ikke reflekterede lyd absorberes af vægge eller andre objekter. Materialet leder den absorberede lyd videre og dæmper den. I de fleste tilfælde transmitteres lyden videre til luften. Højt elastiske materialer, som f. eks. stål, er gode lyd-ledere. Deres dæmpningseffekt er i reglen ringe.

Fig. 12.2 :
Lydspredning i et lukket rum

12.4.3 Lyddæmpning

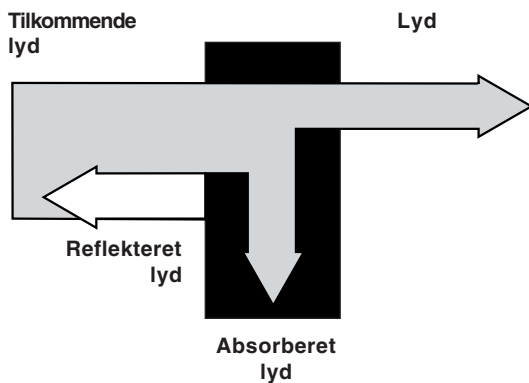


Fig. 12.3 :
Lyddæmpning ved vægge

Dæmpning er forvandlingen af lydenergi til varme. Den opstår af partikelfriktionen mod andre partikler. Under denne proces absorberes lyden. Dæmpning af luftbåren lyd sker ved hjælp af porøse og fiberholdige materialer med et lavt elasticitet modul og en stor flade (kg/m^2). Dæmpningen af lyden med egnede materialer, afhænger også af lydets frekvensspektrum. Frekvenser dæmpes i forskellig grad.

Lyddæmpning i luft afhænger af luftens temperatur og luftfugtighed. Under normale omstændigheder kan den først spores på en afstand af 200 m. Når luftfugtigheden er høj, f.eks. i tåge, er dæmpningen kraftigere.

12.4.5 Spredning af lyd i rør og kanaler

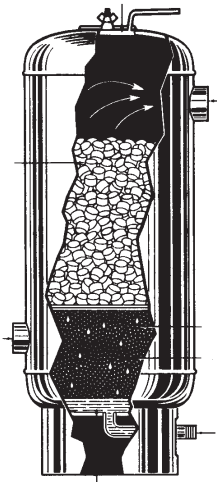


Fig. 12.4 :
Absorptions lyddæmper med lige kulisser

For spredning af lyd i rør og kanaler gælder specielle love. Det strømmende medie og refleksionerne i rør og kanaler intensiverer spredningen af lyden. Det gælder især ved udnyttelse af den varme afgangsluft fra en kompressor til rumopvarmning. Der skal foretages foranstaltninger mod den uhindrede lydspredning i kanalerne.

Den lyddæmpede kompressor afgiver der en lydbølge ind i afgangskanalen. Lyden som ikke her reduceres af lyddæmpningen, forplantes videre i kanalsystemet. Den kommer uhindret ud af ventilationsåbningerne i de opvarmede rum.

Der findes flere modforholdsregler til reducere af lydets spredning i kanaler og rør:

- Langsgående isolering.
Kanalerne beklædes med absorberende materialer. Derved reduceres lydenergien og lydtryksniveauet i kanalen.
- Absorptions lyddæmper.
En del af kanalen fyldes løst med lydabsorberende materiale (F. eks. Sten- eller glasuld). Dette absorberer en stor del af lydenergien, ligesom ved væggene. Den største ulempe ved denne type af lyddæmpning, er den store strømningsmodstand. Anvendelse af sådanne lyddæmpninger, uden en stor afgangsventilator, kan ikke anbefales.

12.4.6 Lydtryksniveau fra mange lydtkilder

Når der er flere lydtkilder i et rum , vil lydtryksniveauet stige. Afgives der mere lydenergi bliver lydtrykket højere. Den opfattede lydintensitet stiger. Sammenhængene er ikke lineære. Det afhænger meget af de bygningsmæssige forhold, lydtrykniveauet af de enkelte kilder og deres frekvensspektrum. Derfor vil der kun blive sammenhængnet mellem to af de simpleste tilfælde.

De her brugte værdier må kun tages som størrelsesordener. Da der ikke er taget hensyn til mange influerende faktorer, kan værdierne i isolerede tilfælde afvige stærkt.

12.4.6.1 Flere lydtkilder med samme lydtryk

Når der forekommer to eller flere lydtkilder med samme lydtryk i et stort rum, er sammenhængen relativt simpelt. Nedenstående tabel angiver stigningen af det samlede lydtrykniveau uden hensyntagen til eventuelle refleksioner eller forstyrrende støj:

Antal af lydtkilder	2	3	4	5	10	15	20
Stigning af lydtryksniveau [dB (A)]	3	5	6	7	10	12	13

For at få det samlede lydtryksniveau, skal stigningen af lydtrykniveauet lægges til lydtrykniveauet af de enkelte lydtkilder.

Eksempel

Der findes tre ultra-lyddæmpede skruekompressorer S 21 i en stor hal. Hver af dem afgiver i h.t.DIN 45635 et lyd- tryk på 69 dB (A). Det samlede lydtrykniveau er derfor på 74 dB (A) [69 + 5].

12.4.6.2 To lydtkilder med forskelligt lydtryksniveau

Det samlede lydtrykniveau for to kompressorer med forskelligt lydtryk ($L_1 + L_2$) kan fastlægges ved hjælp af et diagram. Ved flere lydtkilder med forskelligt lydtrykniveau bliver sammenhængen meget kompliceret.

Diagrammet viser, hvor mange decibel (DL) den højeste af de to lydtkilder L_1 stiger, afhængigt af differensen mellem de to niveauer ($L_1 - L_2$).

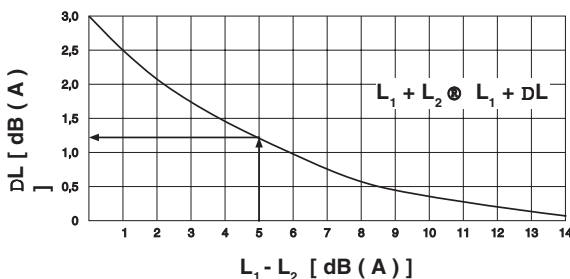


Fig. 12.5 : Forstærkelse af lydstyrken ved to lydtkilder med forskelligt lydtryk

Eksempel

En kompressor med et lydtryk i h.t. DIN 45635 på 69 dB (A) og en kompressor med et lydtryksniveau på 74 dB (A) er installeret i det samme rum. Det samlede lydtryk er i dette tilfælde ca. 75.3 dB (A). [74 - 69 = 5 @ 74 + 1.3 = 75.3]

12.5 Lydens effekt

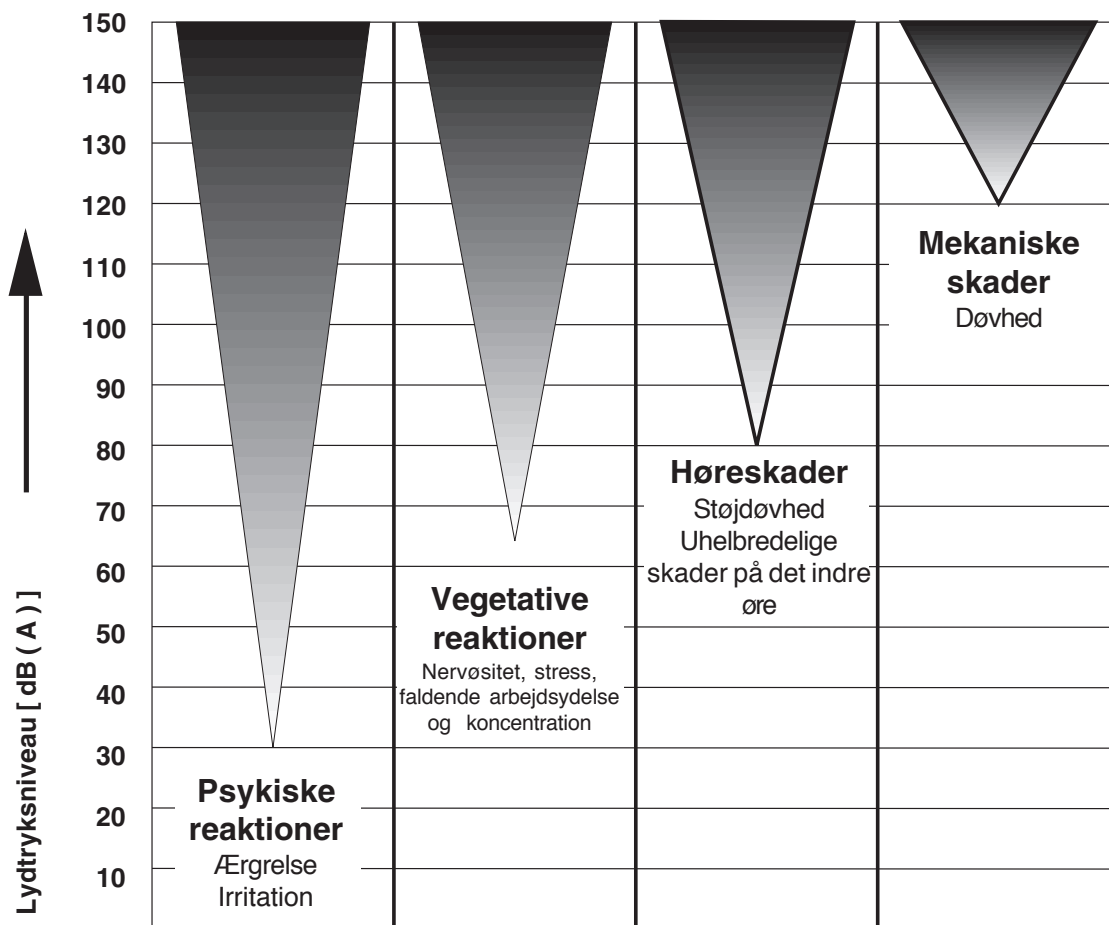


Fig. 12.6 :
Sundhedsskadelig lyd (Larm)

En af lydens former er larm. Dette er en uønsket, generende eller smertende lyd. Larm har forskellige negative indvirkninger, som er afhængige af lydtrykket:

- Koncentrationsforstyrrelser.
- Et lydtryk på ca. **70 dB (A)** fører til forstyrrelser i den sproglige kommunikation.
- Lydtryk på **85 dB (A)** fører i reglen efter et 8-timers skift til forbigående nedsættelse af høresansen. Forsættes denne akustiske belastning i flere år, kan det føre til permanente høreskader.
- Lydtryk på **110 dB (A)** fører meget hurtigt til nedsættelse af høresansen. Forsættes denne belastning i flere timer, vil det med største sandsynlighed føre til blivende høreskader.
- Lydtryk på **135 dB (A)** og derover fremkalder, i de fleste tilfælde, øjeblikkelig ødelæggelse af høresansen.

- 12.6 Støjbeskyttelses direktiver**
- Til modvirkning af den negative effekt fra støj findes forskellige støjbeskyttelsesregler. De af miljøstyrelse og arbejdstilsynet (AT) givne regler er gyldige. Der medtages i denne publikation kun få kendte europæiske vejledninger. Detaljer kan fås ved henvendelse til de respektive danske myndigheder og styrelser.
- Sikkerhedsreglerne for støjfremkaldende virksomheder skal opfylde følgende forholdsregler:
- 12.6.1 Sikkerhedsregler for støjfremkaldende arbejde, dato 12/1974**
- Arealer med støj over **90 dB (A)** skal være afmærket.
 - Fra **85 dB (A)** skal medarbejderne forsynes med høreværn. Dette udstyr er altid et krav ved lydtryk over **90 dB (A)**.
 - Er der på grund af larmen fare for ulykker, skal der træffes de fornødne forholdsregler herimod.
 - Hvis lydtrykket på **85 dB (A)** overskrides, skal der drages omsorg for regelmæssige undersøgelser af medarbejderne.
 - Nye arbejdspladser skal overholde alle de nyeste forholdsregler til beskyttelse af medarbejderne mod støj.
- 12.6.2 Sikkerhedsregler for kompressorer (VBG 16) Dato 4/1987**
- § 12 Afsn.3 Maksimalt tilladt lydtryk er på **85 dB (A)** når installationen sker i rum. Støjmålingen sker i h.t. DIN 45635 direkte ved arbejdspladsen.
- Bemærk: Arbejdsarealet ved kompressorer er ikke arbejdspladser, selvom visse vedligeholdelsesarbejder kræver nogen tid.
- Lydtrykniveauet i arbejdsrum skal generelt være så lavt som muligt (§ 15). Det må ikke overskride følgende grænser:
- 12.6.3 Nationalt arbejdsplads direktiv Dato 4/1975**
- 55 dB (A)** For opgaver som for største delen er mentale.
 - 55 dB (A)** Kantiner og opholdsrum.
 - 70 dB (A)** For simple eller hovedsageligt mekaniserede kontorarbejder.
 - 85 dB (A)** Alle andre beskæftigelser (Produktion og installationsarbejde og lignende aktiviteter)

12.6.4 Nationale (D) generelle administrative regler om støj Dato 7/1984

Disse regler fastlægger generelle retningslinjer for støjafgivelse i fabriks- og boligområder. Reglerne omfatter såvel støj hidrørende fra trafik, som fra industrielle virksomheder.

Målestedets placering:

0,5 m foran et åbent vindue af den af støjen mest influerede person.

Område	Maksimalt tilladt lydtryksniveau	
	Dag Kl. 6.00 - 22.00 maks. dB (A)	Nat Kl. 22.00 - 6.00 maks. dB (A)
Kun erhverv	70	70
Hovedsageligt erhverv	65	50
Erhverv og boliger	60	45
Hovedsageligt boliger	55	40
Kun boliger	50	35
Kur- og hospitalsområder	45	35
Boliger der er en del af et erhvervsanlæg	60	45

12.7 Støjmåling

Ved støjmåling af kompressorer og lignende maskiner anvendes normalt **hylsteroverflade metoden givet i DIN 45635**. Denne standard danner forudsætningen for, at kompressorer og maskiner direkte til den omgivende frie atmosfære afgivne støj (Lydydelse) måles efter en ensartet og dermed sammenlignelig metode.

Støjmålinger af kompressorer og maskiner benyttes til fastlæggelse af, om visse bestemte krav er opfyldt. De opnåede resultater kan anvendes til:

- Sammenligning af lignende maskineri.
- Sammenligning af forskellige maskiner.
- Skøn over lydtrykniveauer på nogen afstand.
- Kontrol af lydmission iflg. gældende bestemmelser.
- Planlægning af støjbeskyttelses forholdsregler.

12.8 Lyddæmpning på kompressorer



Fig. 12.7 :
Lyddæmpede skruekompressorer

Ved drift af kompressorer kan der kortvarigt opstå lydtrykniveauer over 85 dB (A). Ved opstilling af flere udæmpede kompressorer i det samme rum kan der opstå væsentligt højere lydtryk. Da støjbeskyttelsesreglerne anbefaler anlæggelse af høreværn ved 85 dB (A) og det er et krav fra 90 dB (A), er det ofte en fordel at installere lyddæmpede kompressorer.

Lyddæmpede kompressorer kan opstilles i nærheden af arbejdspladserne. Herved spares installation af lange rørledninger og de dermed forbundne tryktab.

Der stilles bestemte krav til lyddæmpende materiale:

- Det må ikke være brændbart.
- Det skal ikke være følsomt overfor støv.
- Det skal være upåvirkeligt af olie.

Det til kompressorer anvendte lyddæmpningsmateriale er derfor først og fremmest mineraluld (Sten- eller glasuld) og fluor-kulstoffrit, svært antændeligt og selvslukkende skummateriale, der monteres i stålpladehuse.

13. Trykluftens kostpris

13.1 Sammensætningen af trykluftens kostpris

Trykluftens driftsomkostninger består af tre faktorer:

- Service og vedligeholdelsesomkostninger.
Serviceomkostningerne omfatter aflønning af montør, reservedele og forbrugsgods, som smøre- og køleolie, luftfiltre, oliefiltre og lignende.
- Energiomkostninger.
Disse omfatter el- og brændstofforsyning, der er nødvendige for drift af kompressoren.
- Kapitalomkostninger.
Kapitalomkostningerne er renter og afdrag for de investerede produktionsenheder. (Kompressor, efterbehandlingsudstyr og rørledningsnettet). De omfatter renter og afskrivninger).

13.1.1 Kostfaktorforhold

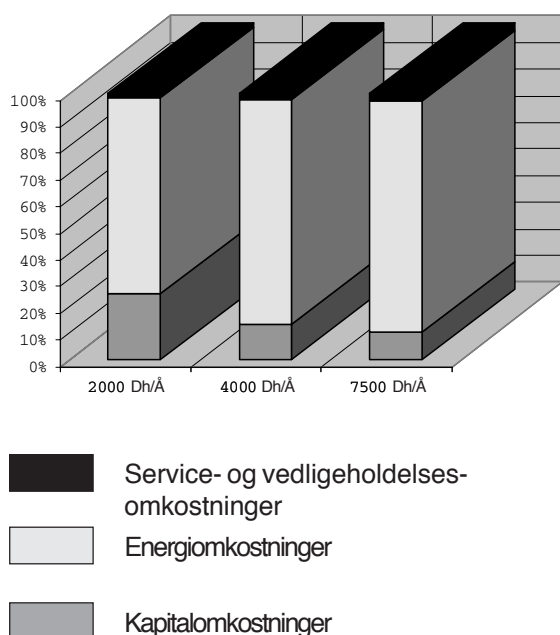


Fig. 13.1 :
Forholdet af trykluftomkostningerne ved forskellige driftstimer p. a.

Størrelsesordenen af de enkelte faktorer kan variere, afhængig af de årlige driftstimer. Ved enkeltskifts drift er de i reglen 2000 h/å, 4000 h/å ved dobbelt skifts drift, og 7500 h/å ved 3-skifts drift.

Ved fastlæggelse af kostfaktorerne er beregningen baseret på en strømomkostning på 1,52 DKK/kWh og en afskrivningsperiode på 5 år, samt en rentefod på 8%.

Kostfaktorer	Driftstimer per år		
	2000 Dh/Å [%]	4000 Dh/Å [%]	7500 Dh/Å [%]
Service og vedligeholdelse	2	2.5	2.7
Energiomkostning	73	84	87
Kapitalomkostning	25	13.5	10.3

Man kan se, at energien er den største faktor. Service- og vedligeholdelse kan der næsten ses bort fra. Kapitalomkostningerne er på længere sigt ikke særligt tyngende. Hovedvægten ligger klart på energiforbruget. Derfor må energiforbruget være det væsentligste kriterium ved købet af et kompressor anlæg.

En specificering af energiomkostningerne findes på næste side.

13.2 Økonomiberegning af energiomkostningerne

Producent Art Type		Skruekompressor S40	
(1) FAD af anlægget (\dot{V}) i h.t. PN2 CPTC2 Omgivende temperatur $t = 20^\circ \text{C}$ Driftstryk	m ³ /h bar	303 8	
(2) Elektrisk effektbehov Kompressor Drivrem Gear Ventilator Samlet anlæg (P_e)	kW kW kW kW kW	 31,89	
(3) Motor virkningsgrad (η) med IP 54 kapsling		92,5	
(4) Samlet effektbehov (P_i) fra elforsyning $P_i = P_e (2) \times 100 / \eta (3)$	kW	34,47	
(5) El-pris (c)	DKK/kWh	0,45	
(6) El-omkostning/h $C = P_i (4) \times c (5)$	DKK/h	15,51	
(7) Kostpris/m ³ trykluft $C_v = C (6) / \dot{V} (1)$	DKK/m ³	0.051	
(8) Omkostninger per år Tryklufforbrug (A_R) Årlige driftstimer Tryklufforbrug per år $A_R/Y = Dh \times A_R$	m ³ /h Dh m ³	300 2000 600.000	
(9) Samlede omkostninger p. a. $C_v = A_R/Y (8) \times C_v (7)$	DKK/Å	30.600	
(10) Yderligere årlige omkostninger			

Ved beregningen er der ikke taget hensyn til eventuelle tomgangsperioder.

Tillæg

A.1 Symboler

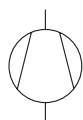
A.1.1 Billedsymboler i h.t. DIN 28004

Følgende billedsymboler er standardiseret i DIN 28 004, Afsn. 3. Der er kun medtaget de standard symboler, der er relevante for trykluftanlæg.

Disse symboler er beregnet for en ensartet fremstilling af flow-diagrammer.

Flow diagrammer tjener til en forståelse for alle parter, som arbejder med udvikling, planlægning, montage og drift af procesanlæg, såvel som for en illustrering af en gennemført proces.

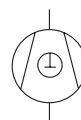
Kompressorer og pumper



Kompressorer, generelt



Membrankompressorer



Roterende stempelkompressorer



Væskeringskompressorer



Stempelkompressorer



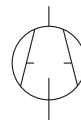
Roots kompressor



Skruekompressorer



Turbo-kompressorer

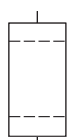


Roterende lamel- og rotations kompressorer

Filtre



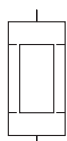
Fluidfiltre, generelt
Filtreringsapparater, generelt



Væskefiltre, generelt



Gasfiltre, generelt
Luft filtre, generelt

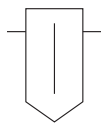


Aktive kulstoffiltre

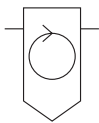


Gas-sorptions filtre

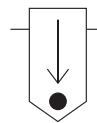
Udskillere



Udskiller, generelt



Centrifugaludskillere, Rotationsudskillere
Støvdskillere



Tyngdekraftsudskillere
Samlekammer

Armaturer



Afspærring, generelt



Afspærringsventil



3-Vejs afspærringsventil



Spærrehane



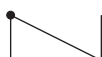
3-Vejshane



Afspærringsskydehane



Spærreklap



Kontraarmatur, generelt



Kontraventil



Kontraklap

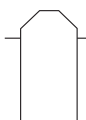


Armaturl med konstant indstilling



Armaturl med sikkerhedsfunktion

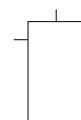
Andre



Tørrer, generelt



Kondensatdræn



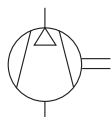
Beholder, generelt

Tillæg

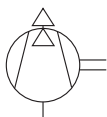
A.1.2 Symboler for kontaktenheder og omskiftere i h. t. ISO 1219

Følgende symboler er standardiserede iflg. ISO 1219 (8.78). Der er kun gengivet uddrag af denne standard. Symbolerne er for fremstilling af pneumatiske og hydrauliske diagrammer, og anvendes til beskrivelse af styring og funktion af sådanne anlæg.

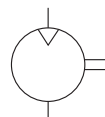
Energi omformning



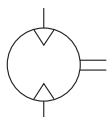
Kompressor



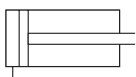
Vakuumpumpe



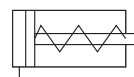
Trykluftmotor med en strømning



Trykluftmotor med to strømninger



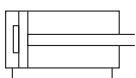
Enkeltvirkende, returbevægelse ved ekstern kraft



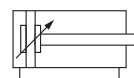
Enkeltvirkende cylinder, fjederretur



Dobbeltvirkende cylinder



Dobbeltvirkende cylinder med ensidig ikke justerbar drøvling



Dobbeltvirkende cylinder med justerbar drøvling i begge sider

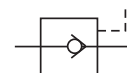
Kontraventiler



Kontraventil uden fjeder



Kontraventil med fjeder



Styret kontraventil

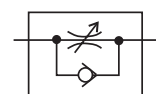
Strømningsventiler



Drøvleventil med konstant drøvling

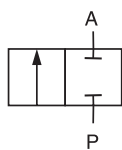


Stilbar drøvleventil

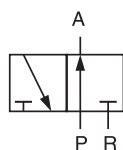


Drøvlekontraventil

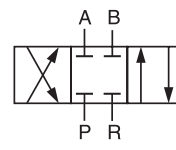
Styreventiler



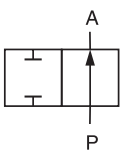
2/2-vejs ventil, neutralt lukket



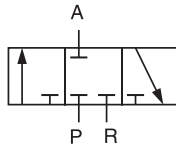
3/2-vejs ventil, neutralt åben



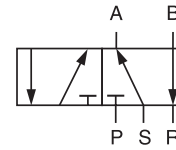
4/3-vejs ventil, lukket midtstilling



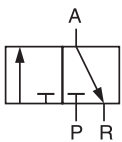
2/2-vejs ventil, neutralt åben



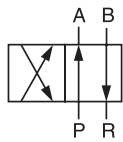
3/3-vejs ventil, lukket midtstilling



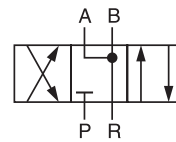
5/2-vejs ventil



3/2-vejs ventil, neutralt lukket

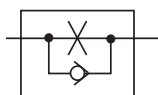


4/2-vejs ventil

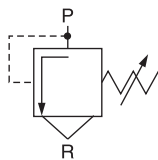


4/3-vejs ventil, midtstilling afluftning

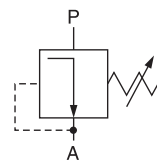
Trykventiler



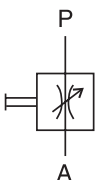
Membran kontraventil



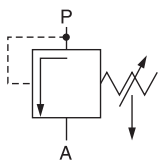
Trykafblæsningsventil, justerbar



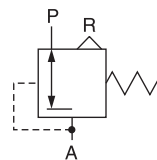
Trykstyreventil uden dræn, justerbar



Drøvleventil, manuelt justerbar



Nødventil, justerbar med afluftning



Trykstyreventil med dræn, justerbar

Kort beskrivelse af tilslutningerne

A, B, C	Funktionsledning	R, S, T	Dræn, afluftning
P	Tryklufttilslutning	X, Y, Z	Styreledning

Energioverførsel



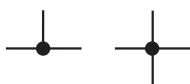
Trykluftkilde



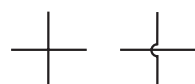
Arbejdsledning



Styreledning



Fast ledningstilslutning



Ledningskryds



Fleksibel ledning



Dræn med rørtilslutning



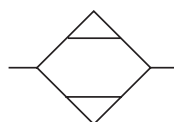
Tryktilslutning
(Lukket)



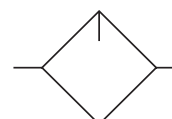
Tryktilslutning
(med tilsluttet ledning)



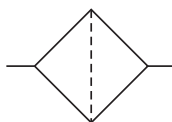
Trykluftbeholder



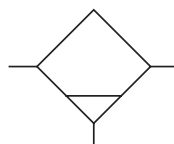
Tørrer



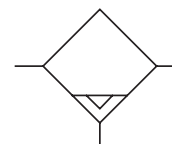
Smøreapparat



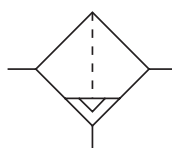
Filter



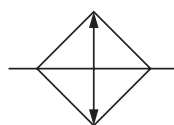
Vandudskiller, manuel



Vandudskiller, med automatisk
tømning



Filter med automatisk vand-
udskiller

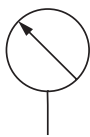


Køler

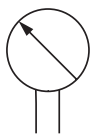


Service enhed
(Simplem fremstilling)

Andet udstyr



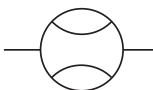
Trykmåler



Differenstrykmåler



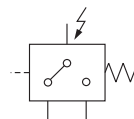
Temperaturmåler



Trykluftmåleudstyr
Ampéremeter



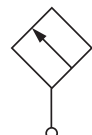
Gennemstrømningsmåler
Volumenmåler



Pressostat



Strømningsføler



Trykføler



Temperaturføler

Omregningstabel

Længde

fra	x	til • fra	x	til
mm	0,03937	inch	2,54	mm
m	3,281	foot	0,3048	m
m	1,094	yard	0,914	m

Areal

fra	x	til • fra	x	til
mm ²	1,55 x 10 ⁻³	sq.inch	645,16	mm ²
cm ²	0,155	sq.inch	6,452	cm ²
m ²	10,76	sq.ft.	0,0929	m ²

Volumen

fra	x	til • fra	x	til
cm ³	0,06102	cu.inch	16,388	cm ³
dm ³ (litre)	0,03531	cu.ft.	28,32	dm ³ (litre)
dm ³ (litre)	0,22	gallon(U.K.)	4,545	dm ³ (litre)
dm ³ (litre)	0,242	gallon(US)	4,132	dm ³ (litre)
m ³	1,308	cu.yard	0,764	m ³

Volumenstrøm

fra	x	til • fra	x	til
l/min	0,0353	cfm	28,3	l/min
m ³ /min	35,31	cfm	0,0283	m ³ /min
m ³ /h	0,588	cfm	1,7	m ³ /h

Tryk

fra	x	til • fra	x	til
bar(abs)	14,5	psia	0,07	bar(abs)
bar(abs)	14,5+atm.	psig	0,07+atm.	bar(abs)

Kraft

fra	x	til • fra	x	til
N	0,2248	pound force(lbf)	4,454	N
kW	1,36	HP	0,736	kW

Temperatur

fra	x	til • fra	x	til
°C	(°C x 1,8) + 32	°F	(°F -32) / 1,8	°C

	A		H	Køleluftstrøm V_k	174
Absorption	83			Køletørring	81
Adsorption	84	Hovedledning	149		
Aktivt kulstof adsorbtion	98			L	
ARS Styring	58		I	Love	
		Inspektion	144, 146	Arbejdsplads	203
	B	Intermitterende styr. forsinket	55	Sikkerhedsregler	203
Basic	59	Intermitterende styring	54	Støj	204
Basisenheder	6	Isobar	8	Støjbeskyttelse	203
Belastet drift (L 2)	53	Isokor	8	Trykbeholdere	142
Billedsymboler	208	Isoterm	8	Luftfugtighed	70
Blaise/Pascal's lov	3			Lyd	199
Boyle/Mariotte's lov	7		K	Lydintensitet	196
Brandsikringsforskrifter	171			Lydmåling	205
		Kombinerede kompressor-		Lydniveau	196
	C	anlæg	139	Vurderet dB (A)	197
		Kompressor dimensionering		Lydopfattelse	195
		Skruekompressorer	135	Lydspredning	200
		Stempelkompressorer	131	Lydstyrke	198
Cyklonudskillere	93	Kompressor rummet	169	Lydstyrkeniveau	197
		Kompressorer		Lydtryk	196
	D	Aksial -	35	Lækage (Tryklufftab)	120
		Dynamisk -	24	Lækagemængde	121,122
Dellast	53	Fortrængnings -	24		
Dellaststyring	56	Radial -	36	M	
Driftsstatus	52	Roots -	34	MCS-styring	60
Drivmotor	48	Kompressorer	24	Motorstartintervaller	
Dugpunkt	71	Aflastet driftstid	129	Fastlæggelse af	130
Duotherm-varmeveksler		Arealbehov	172	Tilladeligt antal per time	130
Besparelse	191	Belastet driftstid	129		
Duotherm BSW	191,192	Cyklus interval	129	O	
		Fristempel -	30	Olie/Vandudskillere	107
	E	Køleluftstrøm V_k	174	Omkostninger	
		Lyddæmpning	205	Trykluft	207
Efterbehandling	66	Membran -	29	Tryklufftab	120
Ekspert	143	Omgivende temperatur	170	Omskifter, symboler	208
		Opstillingsanvisninger	172		
		Oversigt	26	P	
	F	Rotations lamel -	31	Pneumonik	5
		Skruer -	33	Prime	59
		Smøremidler	50		
Filter udskilningsgrad η	91	Stempel -	27	R	
Filtermekanismer	96	Stilstandstid	129	Ratio	59
Filtre		Typer	25	Regenerering	84
Aktivt kulstof	97	Varmebalance	188	Ekstern, varm	87
Driftstryk	92	Væskerings -	32	Intern, varm	86
For-	94	Kompressoropstilling	170	Kold -	85
Mikro-	95	Kompressorvalg	137	Vakuumb -	88
Steril-	99	Kondensat	100	Reynolds tal, Re	156
Tryktab Δp	92	Bortledning af kondensat	171	Ringledning	150
Fluidic	5	Kondensatbehandling	106	Rørledning	
Fordelerledning	150, 151	Kondensatdræn	101		
Frekvensstyring	56	Kondensatmængde	72		
Fysiske grundtræk	8	Kondensatudskillere			
Flere anlæg, samkørsel	152	Cyklonudskillere	93		
		Trykluffbeholdere	141		
		Kvalitetsklasser	77		

Granzow – du har opgaven, vi har løsningen

Hos Granzow A/S betragter vi os i al beskedenhed som en af Danmarks førende indenfor kompressor-teknologi, og vi har leveret værdiskabende industrielle kompressor løsninger siden 1935. Hvad enten det har drejet sig om en leverance på en enkel standardkompressor, eller en specielt konfigureret komplet helheds kompressorløsning med efterbehandlingsudstyr. Vi har dermed i 80 år hjulpet Vore mange kunder i forskellige procesindustrier som eksempelvis, farmaceutisk, fødevarer, off-shore, olie- & gas, jern- & maskin, hospitaler m.v., med værdiskabende løsninger – og det har vi en klar intention om også at gøre de næste 80 år!

Vision

Vores vision er at være blandt de førende leverandører indenfor kompressor-, automatik-, vakuum- og pumpeteknologi, samt at være kendt for vores høje kompetence, kvalitet og værdiskabende løsninger – der sikrer vores kunder høj driftssikkerhed og god økonomi.

Kompressorer

Skruekompressorer, Stempelkompressorer, Lamelkompressorer, Mobile kompressorer, Oliesmurte/Oliefrie, Støjsvage, Energivenlige & besparende anlæg, Centrifugalkompressorer, Højtryksskompressorer, PLC, Styretavler, Efterkølere, Trykluftkøletørrere, Filtre, Elektroniske vandudladere, Olievandudskillere, Adsorptionstørrere, Kundetilpassede el-løsninger.

Automatik

Komplette serier af magnetventiler (2 & 3 vejs, flervejs, rustfrie, manifold, skråsæde, kugler m.v.), pneumatik med komplet program i luftcylindre & ventiler, fittings, pressostater, termostater, linieær føringer, luftmotorer, niveaumålinger, sprængpaneler, sprængplader, lynkoblinger, lyddæmpere m.m. Opbygning af styretavler på eget værksted, samt fremstilling af specialcylindre.

Vakuum & pumper

Omfattende program af effektive Industrielle Vakuumpumper, Sanitære pumper, Membranpumper, Slangepumper, Specielle pumper til fødevarer samt Højtrykspumper & anlæg op til 4.000 bar, Læksøgnings-udstyr & Reguleringsteknik.

Service- & værksted

Vi servicerer alle former for kompressorer, vakuumpumper & roterende udstyr uanset fabrikat – on-site eller off-site reparationer på eget værksted. Specialfremstilling af styreskabe & cylindre.

GRANZOW^A_S

INDUSTRIAL SOLUTIONS since 1935

Ejby Industrivej 26 · 2600 Glostrup · T: 43 20 26 00 · Helge Niensens Allé 6C · 8723 Løsning
info@granzow.dk · www.granzow.dk · www.trykluft.nu