



Tryckluftsteknik

Grunder och tips

Innehåll

Underlag

Kapitel 1	Grundbegrepp inom tryckluftsförsörjningen	4
Kapitel 2	Lönsam produktion av tryckluft	6
Kapitel 3	Varför egentligen tryckluftstorkning?	10
Kapitel 4	Automatisk dränering av kondensat	12
Kapitel 5	Ekonomisk och säker behandling av kondensat	14
Kapitel 6	Effektiv kompressorstyrning	16
Kapitel 7	Optimal förbrukningsorienterad avstämning av kompressorer	20
Kapitel 8	Energibesparing med värmeåtervinning	22
Kapitel 9	Planering av tryckluftsnät	24
Kapitel 10	Sanering av tryckluftsnät	26
Kapitel 11	Behovsanalys för tryckluft (ADA) – nulägesbedömning	28
Kapitel 12	Beräkning av det mest lönsamma konceptet	32
Kapitel 13	Effektiv kylning av tryckluftsstationen	34
Kapitel 14	Långsiktig tillförlitlighet och kostnadsoptimering	36

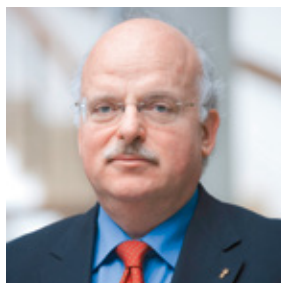
Användningstips

Tips 1	Besparing genom optimalt tryck	42
Tips 2	Rätt tryck vid luftanslutningen	44
Tips 3	Effektiv fördelning av tryckluft	46
Tips 4	Rörledningar i tryckluftsstationen	48
Tips 5	Korrekt uppställning av kompressorer	50
Tips 6	Luftning av tryckluftsstationer	51
Tips 7	Avluftning av tryckluftsstationer	52

Bilaga

Bilaga	Frågeformulär	56
	Anteckningar	62

Förord



Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Thomas Kaeser



Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Tina-Maria Vlantoussi-Kaeser

Kära läsare,

redan för mer än tvåtusen år sedan sammanfattade den berömda grekiska filosofen Sokrates det så här: "Det finns bara ett gott för människorna: kunskap, och bara ett ont: okunskap".

Denna visdom ur munnen på en av västerlandets andliga förfäder är mer aktuell än någonsin, då ingenting tycks mer konstant än förändringen. Förändringarnas ökande omfattning och tempo som en följd av den tekniska utvecklingen och den ekonomiska globaliseringen, kräver nya svar och nya Lösningsstrategier.

Mer än förr måste utmaningarna i framtiden ses och utnyttjas som möjligheter till ännu större framgång. Fortskridande sammanlänkning och komplexitet håller på att göra kunskap till framtidens viktigaste råvara. Den växer exponentiellt och enskilda människor kan därför bara hänga med genom stora satsningar på utbildning och vidareutbildning.

Inte heller inom trycklufttekniken räcker det längre att veta hur högpresterande kompressorer byggs, installeras på ett professionellt sätt och drivs.

Den som vill använda energikällan tryckluft på ett tidsenligt sätt, det vill säga så effektivt sätt som möjligt, måste betrakta tryckluftssystemet i sin helhet. Därutöver måste man förstå de komplexa sambanden och spelen inom detta system, liksom veta hur det är integrerat i ett företags verksamhet.

KAESER KOMPRESSOREN engagerar sig därför starkt för vidareutbildning av sina kunder. Det sker på flera olika sätt. Bland annat reser kvalificerade och erfarna experter från KAESER runt hela året, på alla kontinenter, för att redogöra på kongresser, föreläsningar och seminarier om effektiv tryckluftsförsörjning och -användning. Därutöver görs en mängd specialiserade publikationer i de mest skilda medier.

I den föreliggande broschyren hittar du en sammanfattning av dessa omfattande expertkunskaper. Den erbjuder förutom en grundläggande, läsvänlig introduktion på området tryckluftsteknik, också en rad användningsorienterade tips för verksamhetsutövare och tryckluftanvändare. Av det framgår att inte sällan redan små förändringar av ett tryckluftssystem kan leda till tydliga och konkreta förbättringar av effektiviteten hos och tillgången på denna energikälla.

Grundbegrepp inom tryckluftsförsörjningen

Med tryckluft är det som med allt annat i livet: Detaljerna är ofta avgörande, och små orsaker kan inte sällan få stora konsekvenser – i positiv som negativ bemärkelse. Det är även mycket som vid en närmare betraktelse ser annorlunda ut än vid den första anblicken. Så kan tryckluft vara dyr under ogynnsamma förutsättningar, men däremot mycket lönsam när de rätta ramvillkoren råder. Det första kapitlet handlar om fyra begrepp inom tryckluftstekniken och vad man bör tänka på i det sammanhanget.

1. Flöde

Flödet, som även kallas kompressorns kapacitet, är den mängd atmosfärisk luft som kompressorn levererar till tryckluftsledningsnätet i komprimerat skick. Standarden **ISO 1217, bilaga C** anger den korrekta mätningen av denna mängd. Mätningen av kompressorsystemets kapacitet sker enligt **bild 1**: Först mäts temperatur, atmosfäriskt lufttryck och luftfuktighet vid anläggningens luftinlopp. Därefter mäts, under konstanta driftförhållanden, driftrycket, som bör vara inställt på maximalt värde, tryckluftstemperaturen och den luftvolym som levereras vid kompressorsystemets tryckluftsutlopp. Slutligen räknas den vid tryckluftsutloppet uppmätta volymen V_2 om till insugningsförhållandena med hjälp av gasekvationen (**se formel**).

Resultatet av denna beräkning är kompressorsystemets kapacitet. Den ska inte förväxlas med kompressorblockens flöde (blockkapacitet).

Observera:

$$V_1 = \frac{V_2 \times P_2 \times T_1}{[P_1 - (P_D \times F_{rel})] \times T_2}$$

ISO 1217 anger endast blockkapaciteten.

2. Motorns axeleffekt

Begreppet motorns axeleffekt anger den mekaniska effekt som kompressorns drivmotor överför till motoraxeln. Det optimala värdet för motorns axeleffekt är den punkt där den optimala elektriska verkningsgraden och effektfaktorn $\cos \phi$ nås utan extrem

överbelastning av motorn. Det ligger inom området för motorns märkeffekt. Den anges på elmotorns typskylt.

Observera! Om axeleffekten avviker för mycket från märkeffekten arbetar kompressorn oekonomiskt och/eller utsätts för ökat slitage.

3. Elektrisk upptagen effekt

Den elektriska upptagna effekten är den effekt som kompressorns drivmotor förbrukar från elnätet vid en bestämd mekanisk belastning hos motoraxeln (motorns axeleffekt). Den är högre än motorns axeleffekt, motsvarande värdet för motorförlusterna. Till motorförlusterna hör elektriska och mekaniska förluster genom motorlagring och ventilation. Den elektriska upptagna effekten i märkpunkten kan beräknas med formeln:

$$P = U_n \times I_n \times \sqrt{3} \times \cos \phi_n$$

U_n , I_n , och $\cos \phi_n$ kan avläsas på elmotorns typskylt.

4. Specifik effekt

Förhållandet mellan den ingående elektriska upptagna effekten och den avgivna luftmängden vid motsvarande driftryck heter specifik effekt (**bild 2**). En kompressors ingående elektriska förbrukning är summan av alla elektriska upptagna effekter för drivenheterna i kompressorn, t.ex. huvudmotor, fläktmotor, oljepumpmotor, stilleståndsvärmare etc.

Om den specifika effekten krävs för en lönsamhetsberäkning bör den avse hela kompressorsystemet vid maximalt driftryck.

Härvid divideras värdet för den elektriska totaleffekten vid maximalt tryck med värdet för anläggningens flöde vid maximalt tryck:

$$P_{spez} = \frac{\text{elektr. upptagen effekt}}{\text{flöde}}$$

5. IE – den nya enheten för energisnål drift

Med "Energy Policy Act" (EPACT) inleddes 1997 i USA energi-effektivitetsklassificeringen av trefasasynkronmotorer. Senare infördes även i Europa en effektivitetsklassificering. Sedan 2010 gäller den internationella IEC-standarderna för elmotorer. Klassificeringar och lagstiftningskrav fick till följd att energieffektiviteten hos elmotorerna i premiumklassen förbättrades avsevärt. De effektivare motorerna har viktiga fördelar:

a) Lågre drifttemperaturer

Interna verkningsgradförluster (friktion, uppvärmning) kan i mindre motorer uppgå till 20 % av effektförbrukningen, i motorer fr.o.m. 160 kW 4 till 5 %. IE3/IE4-motorer kräver betydligt mindre uppvärmning och därmed mindre förluster (**bild 3**):

En konventionell motor med normal belastning har en drifttemperaturökning på ca 80 K vid en temperaturresevä på 20 K jämfört med isoleringsklass F, medan en IE3-motor under samma förhållanden har en temperaturökning på endast ca 65 K vid en temperaturresevä på 40 K.

b) Längre livslängd

Lägre drifttemperaturer betyder lägre termisk belastning på motorn, lagren och kopplingsboxen. Det har också fördelen att livslängden förlängs.

c) 6 % mer tryckluft med mindre energi

Lägre värmeförluster leder till förbättrad lönsamhet. På det sättet har KAESER genom att exakt anpassa kompressorerna till de effektivare motorerna kunnat höja flödena med upp till 6 % och förbättra de specifika effekterna med upp till 5 %. Detta innebär: högre produktionskapacitet, reducerad körtid för kompressorerna och lägre energiförbrukning per producerad kubikmeter tryckluft.

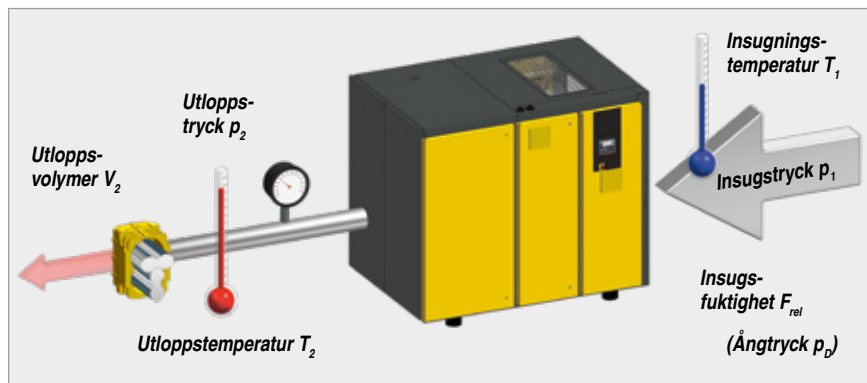


Bild 1: Flödesmätning enligt ISO 1217, bilaga C

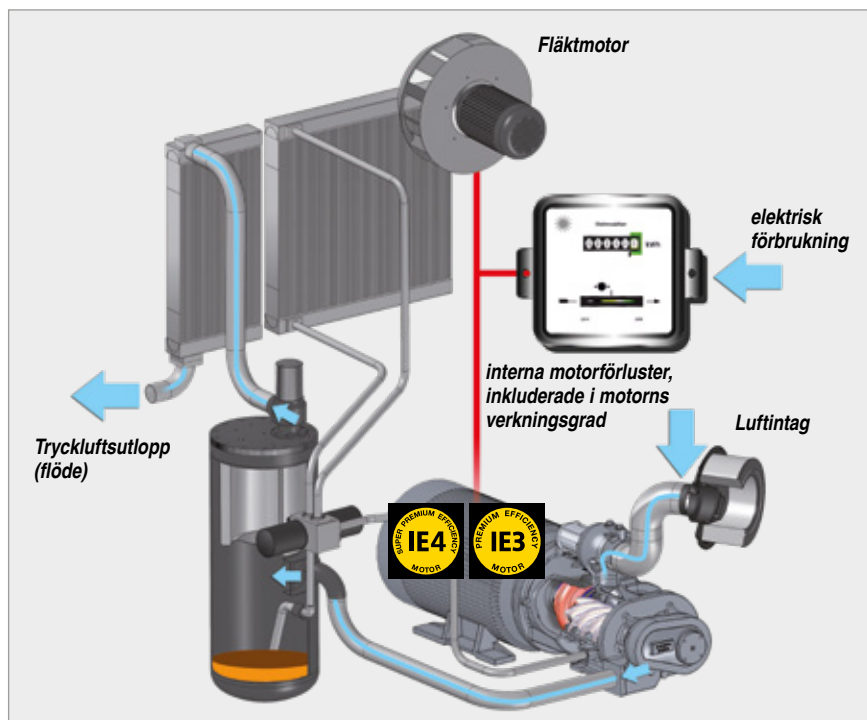


Bild 2: Konstruktion av en skruvkompressor, beräkning av den specifika effekten

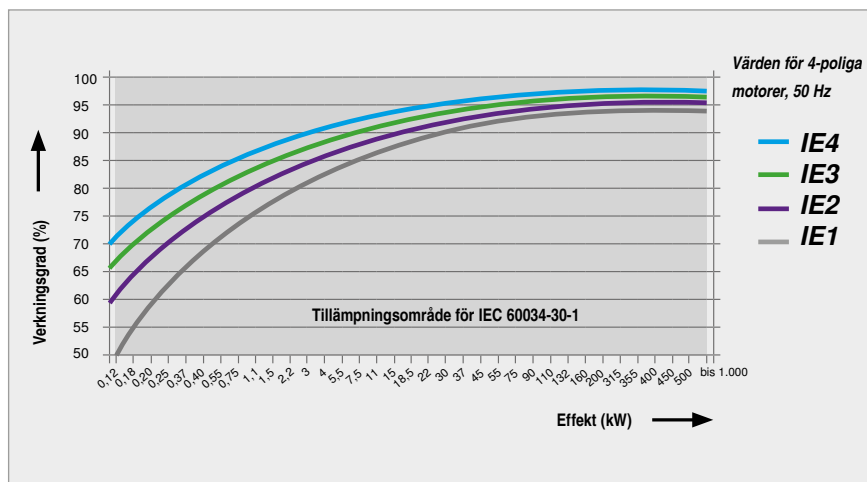


Bild 3: IEC-standarden – effektivitetsklassificeringen för elmotorer.

Sedan juli 2021 måste energieffektivitetsklass IE3 uppfyllas i EU för trefasmotorer i effektklassen från 0,75 till 1 000 kW och en relativ arbetscykel från 80 % och uppåt, och från och med juli 2023 energieffektivitetsklass IE4 från 75 till 200 kW. Nästa effektivitetsklass IE5 har ännu inte definierats i detalj och är avsedd för den framtida utgåvan av denna standard.

Lönsam produktion av tryckluft

När det gäller frågan vilket kompressorsystem som är bästa för att producera oljefri tryckluft är en sak klar – oberoende av olika tillverkares åsikter: Hög kvalitet på den oljefria tryckluften kan uppnås både med oljefria torrkomprimerande och med olje- eller vätskekylda kompressorer. Det avgörande för valet av system bör därför vara lönsamheten.

1. Vad menas med "oljafri tryckluft"?

Enligt ISO-standard 8573-1 får tryckluft betecknas som oljefri när oljehalten (inklusive oljeånga) ligger på under 0,01 mg/m³. Det är ungefär fyra hundra delar av vad som finns i atmosfärisk luft.

Denna mängd är så liten, att den knappt längre kan mätas. Men hur är kvaliteten på kompressorns insugningsluft?

Det beror starkt på förutsättningarna i omgivningen. Redan i områden med normal belastning, kan mängden kolväten genom industri- och transportrelaterade utsläpp uppgå till mellan 4 och 14 mg/m³ g/m³ luft.

I industriområden, där olja används som smörj-, kyl- och processmedium, kan enbart halten mineralolja ligga långt över 10 mg/m³.

Därutöver tillkommer andra föroreningar som kolväten, svaveldioxid, sot, metaller och damm.

2. Varför efterbehandling?

Varje kompressor fungerar som en jättelik dammsugare, som tar upp föroreningar, koncentrerar dessa genom kompression av luften och om luften inte behandlas vidarebefordras dessa till tryckluftsnätet.

a) "Oljefria" kompressorer

Detta gäller framför allt för torrkomprimerande kompressorer. På grund av belastningarna som nämns under punkt 1 är det inte möjligt att producera oljefri tryckluft med en kompressor som enbart har ett 3-mikron-dammfilter. Torrkomprimerande kompressorer har förutom dessa dammfilter inga andra behandlingskomponenter.

b) Fluid- resp. oljekylla kompressorer

Till skillnad från det neutraliserar aggressiva ämnen i olje- och vätskekylda kompressorer av kylmediet (olja), och fasta partiklar tvättas delvis bort ur tryckluften.

3. Utan behandling ingen definierad tryckluftskvalitet

Trots den högre renhetsgraden hos den producerade tryckluften gäller även här: utan behandling går det inte. Med endast oljefri och oljekyllad kompression går det inte under normala insugningsförutsättningar och med de luftföroreningar som uppstår i samband med det, att producera definierad oljefri tryckluftskvalitet enligt ISO 8573-1. Hur lönsam tryckluftproduktionen är beror på tryck- och flödesområdet, och det i sin tur beror på den kompressortyp som krävs. Grunden för varje använd-

ningsanpassad tryckluftbehandling är en tillräcklig torkning. För det mesta är energisparande kalltorkning den mest lönsamma metoden (se också kapitel 3, sida 10).

4. Behandling med KAESER-renluftssystem

Moderna vätske- eller oljekylla skruvkompressorer har ca upp till 10 % högre verkningsgrad än torrkomprimerande kompressorer. Det renluftssystem som KAESER utvecklat för vätske- eller oljekylla och för torrkomprimerande kompressorer möjliggör ytterligare kostnadsbesparingar på upp till 30 %.

Den restoljehalt som därmed kan uppnås ligger under 0,003 mg/m³, d.v.s. långt under det gränsvärde för kvalitetsklass 1 (rörande restoljehalt) som är fastlagt av ISO-standard. Systemet omfattar alla behandlingskomponenter som krävs för produktion av den nödvändiga tryckluftskvaliteten. Beroende på användningsområde används kyl- eller adsorptionstorkar (se också kapitel 3, sida 11) och olika filterkombinationer. På det sättet kan allt från torr och partikelfri till tekniskt oljefri och steril tryckluft, i de enligt ISO-standard fastslagna tryckluftskvalitetsklasserna, produceras tillförlitligt och kostnadseffektivt. Se avbildningsdiagrammet på de två följande sidorna.



Bild 1: Tryckluftskyttork i en tryckluftsstation



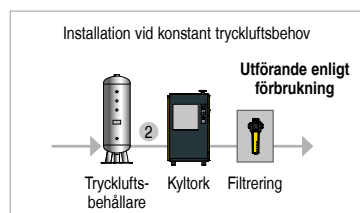
Bild 2: Installationsexempel för tryckluftsbehandling med kyltork, koalescensfilter och aktivt kolfilter samt tryckhållningssystem

Lönsam produktion av tryckluft

På diagrammet kan den korrekta kombinationen av enheter avgöras på ett ögonblick baserat på användningsområde. Välj önskad behandlingsgrad efter behov/användningsområde.

Användningsexempel: Val av renhetsklasser för tryckluft enligt ISO 8573-1 (2010)

Tryckluftsbehandling med kyltork (tryckdaggpunkt upp till +3 °C)



KAESER-skruvkompressor
torkkomprimerande eller oljeinsprutad

AQUAMAT 4

1 Cyklon-avskiljare KC

2 Koalescensfilter KB

Kyltork

5 Aktivkol-adsorberare ACT

Koalescensfilter KE

Dammfilter KD

Koalescensfilter KE

Tryckhållningssystem

Tryckluftsbefållare*

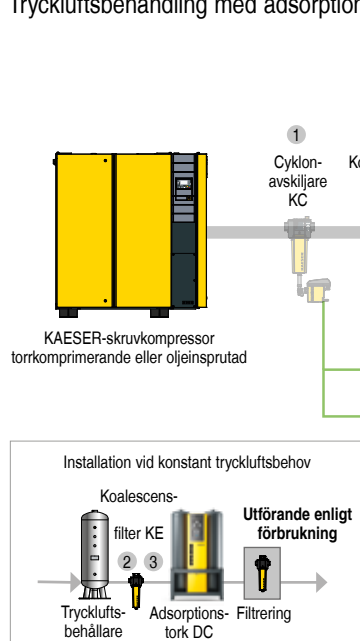
6 Koalescensfilter KE

Aktivt kolfilter KA

Koalescensfilter KE

Koalescensfilter KB

Tryckluftsbehandling med adsorptionstork (tryckdaggpunkt ner till -70 °C vid frostkänsliga användningsområden)



KAESER-skruvkompressor
torkkomprimerande eller oljeinsprutad

AQUAMAT 4

1 Cyklon-avskiljare KC

2 Koalescensfilter KB

3 Koalescensfilter KE

Adsorptionstork DC

Dammfilter KD

5 Aktivkoladsorberare ACT

Dammfilter KD

Koalescensfilter KE

Tryckhållningssystem

Tryckluftsbefållare*

Aktivt kolfilter KA

Koalescensfilter KE

- Med en integrerad cyklonavskiljare i kompressorn behövs inte KC.
- I fallet med tredjepartskompressorer/smutsiga och kraftigt korroderade rörledningar installeras filtersteget KB uppströms.
- För kritiska användningsområden som kräver hög tryckluftsrenhet installeras KB-filtersteget uppströms.
- Vid torkkomprimerande skruvkompressor ska condensatet ledas bort på plats.

- Stilleståndstid ca 12 000 h
- Stilleståndstid ca 500 h
- Stilleståndstid ca 1 000 h

Uppnåeliga tryckluftsrenhetsklasser

Partiklar	Vatten	Olja
1	4	1
2	4	1
1	4	1
1	4	2
4	4	3
4	7-X	3
4-6	7-X	3-4

Bransch/användningsområde

Renlufts- och renrumsteknik, mejeri, bryggeri, produktion av livsmedel och lyxlivsmedel

Extra höga renhetskrav, kemisk industri

Väverier, fotolaboratorier, läkemedelsindustri

Sprutlackering, pulverlackering, förpackning, styr- och instrumentluft

Allmän arbetsluft, blästring med höga krav

Kulblästring

Transportluft för spillvattensystem

Uppnåeliga tryckluftsrenhetsklasser

Partiklar	Vatten	Olja
1	1-3	1
2	1-3	1
1	1-3	1
1	1-3	2
2	1-3	2

Bransch/användningsområde

Renlufts- och renrumsteknik, livsmedelsindustri, produktion av livsmedel och lyxlivsmedel

Lackeringsanläggningar

Processluft, läkemedelsindustri

Fotolaboratorier

Extra torr transportluft, färgsprutor, precisionsregulatorer

Tryckluftsrenhetsklasser enligt ISO 8573-1 (2010):

Partiklar			
Klass	max. antal partiklar per m ³ * med en partikelstorlek av d i µm*)		
	0,1 < d ≤ 0,5	0,5 < d ≤ 1,0	1,0 < d ≤ 5,0
0	t.ex. för renluft- och renrumsteknik efter KAESERs godkännande		
1	≤ 20 000	≤ 400	≤ 10
2	≤ 400 000	≤ 6 000	≤ 100
3	ej definierat	≤ 90 000	≤ 1 000
4	ej definierat	ej definierat	≤ 10 000
5	ej definierat	ej definierat	≤ 100 000
Klass	Partikelkoncentration C _p i mg/m ³ *)		
	6	0 < C _p ≤ 5	
7	5 < C _p ≤ 10		
X	C _p > 10		

Vatten	
Klass	Tryckdaggpunkt i °C
0	t.ex. för renluft- och renrumsteknik efter KAESERs godkännande
1	≤ - 70 °C
2	≤ - 40 °C
3	≤ - 20 °C
4	≤ + 3 °C
5	≤ + 7 °C
6	≤ + 10 °C
Klass	Koncentration flytande vattenhalt C _w i g/m ³ *)
7	C _w ≤ 0,5
8	0,5 < C _w ≤ 5
9	5 < C _w ≤ 10
X	C _w > 10

Olja	
Klass	Total oljekoncentration (flytande, aerosol + gasformig) [mg/m ³] *)
0	t.ex. för renluft- och renrumsteknik efter KAESERs godkännande
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	≤ 1,0
4	≤ 5,0
X	> 5,0

* Om det ställs höga krav på tryckluftens kvalitet bör tryckluftsbehållaren alltid installeras i en grenledning efter behandlingen för att undvika att avlagringar dras in.

*) vid referensvillkor 20 °C, 1 bar(a), 0 % luftfuktighet.

Varför egentligen tryckluftstorkning?

Problemet ligger i luften – bokstavligt talat: när atmosfärisk luft kyles ned, vilket sker efter kompressionen i kompressorn, kondenseras vattenånga. På det sättet "producerar" en kompressor med ett flöde på 5 m³/min (utgående från en omgivningstemperatur på +20 °C, 70 % relativ fuktighet och 1 bar(abs) per åttatimmarsarbetskift cirka 30 liter vatten. Detta måste tas ur tryckluftssystemet för att undvika driftstörningar och skador. Kostnadseffektiv och miljövänlig tryckluftstorkning är därför en viktig del av en användningskorrekt behandling.

1. Ett praktiskt exempel

Om en vätskekyld skruvkompressor vid 20 °C med omgivningstryck suger in 10 m³ luft per minut med 60 % relativ fuktighet, innehåller denna luft ca 100 g vattenånga. Om luften komprimeras med kompressionsförhållandet 1:10 till ett absolut tryck på 10 bar erhålls 1 driftkubikmeter per minut. Vid en temperatur på 80 °C efter komprimeringen kan luften nu ta upp 290 g vatten per kubikmeter. Då det endast finns ca 100 g, är luften med en relativ fuktighet på ca 35 % tämligen torr, och inget kondensat uppstår. Kompressorns efterkylare reducerar tryckluftstemperaturen från 80 till ca 30 °C.

Därefter kan en kubikmeter luft endast ta upp runt 30 g vatten: vattenöverskottet på ca 70 g/min kondenseras och avskiljs. Vid en arbetsdag på 8 timmar bildas därigenom ca 35 liter kondensat. Ytterligare 11,5 liter per dag kan avskiljas om en efterkopplad kyltork används. I den kyles tryckluften först ner till +3 °C och återuppvärms senare till omgivningstemperaturen. Detta ger en fuktmätnadsgrad på ca 20 % och därmed en bättre, relativt torr tryckluftskvalitet (**bild 1**).

2. Orsak till luftfuktighet

Vår omgivningsluft är mer eller mindre fuktig, d.v.s. den innehåller alltid en viss vattenhalt.

Fuktigheten beror på den temperatur som råder för tillfället. 100 % vattenångemättad luft binder exempelvis, vid +25 °C, nästan 23 g vatten per kubikmeter.

3. Kondensatbildning

Kondensat bildas när luftvolymen minskar och lufttemperaturen samtidigt sjunker. Därigenom minskar luftens vattenupptagningsförmåga. Exakt detta sker efter kompressionen i kompressorblocket och i en kompressors efterkylare.

4. Viktiga begrepp i korthet:

a) Absolut luftfuktighet

Den absoluta luftfuktigheten anger luftens halt av vattenånga i g/m³.

b) Relativ luftfuktighet (F_{rel})

Den relativa luftfuktigheten anger mätnadsgraden, d.v.s. förhållandet mellan den reella vattenångehalten och luftens motsvarande mätnadspunkt (100 % F_{rel}). Den beror på temperaturen: Varm luft kan ta upp mer vattenånga än kall.

c) Atmosfärisk daggpunkt

Atmosfärisk daggpunkt är den temperatur vid vilken luft med atmosfäriskt tryck (omgivningsförhållande) når en fuktmätnadsgrad (F_{rel}) på 100 %.

d) Tryckdaggpunkt

Tryckdaggpunkt avser den temperatur, vid vilken tryckluften under dess absoluttryck når fuktmätnadspunkten (100 % F_{rel}). I exemplet ovan innebär detta: Luften som står under ett tryck på 10 bar(abs) har vid en tryckdaggpunkt på +3 °C en absolut luftfuktighet på 6 g per driftkubikmeter. Om den driftkubikmeter som nämns i exemplet tryckavlastas från 10 bar(abs) till atmosfäriskt tryck ökar volymen tio gånger igen. Andelen vattenånga på 6 g förblir oförändrad och fördelar sig nu på den tiodubbla volymen. Därmed innehåller varje kubikmeter trycklös luft nu endast 0,6 g vattenånga. Det motsvarar en atmosfärisk tryckpunkt på -24 °C.



Bild 1: Vid produktion, lagring och behandling av tryckluft bildas kondensat (uppgifterna baserade på 10 m³/min, 10 bar(abs), 8 h, 60 % F_{rel} och 20 °C)

5. Lönsam och miljövänlig tryckluftstorkning med kyl- eller adsorptionstork?

De miljövänligare nya regleringarna för kylmedel ändrar inte på det faktum att adsorptionstorkar inte är ett alternativ till kyltorkar, vare sig när det gäller lönsamhet eller miljö. De sistnämnda kräver nämligen endast 3 % av den energi som kompressorn behöver för tryckluftproduktion, medan adsorptionstorkar däremot kräver 10 till 25 % eller mer. Därför bör man i normala fall använda kyltorkar.

Användning av adsorptionstorkar är bara meningsfull när extremt torra tryckluftkvaliteter med tryckdaggpunkter på -20, -40 eller -70 °C krävs (**bild 2**). Under loppet av en arbetsdag utsätts tryckluftssystem ofta för stora variationer i förbrukningen. Det gäller även för hela årsförloppet, varvid då även starka temperaturvariationer tillkommer. Därför ska tryckluftstorkar dimensioneras för sämsta tänkbara villkor: lägsta tryck, högsta tryckluftförbrukning, liksom högsta omgivnings- och tryckluftsinloppstemperatur.

Förr löste man denna uppgift med en permanent drift av torkar, vilket framför allt vid dellastdrift ledde till en hög grad av energislöseri. Moderna kyltorkar

Tork-metod	Tryckdaggpunkt °C	Typisk specifik effektförbrukning kW/(m³/min)**)
Kyltork	+ 3	0,1
HYBRITEC	+ 3 / - 40*)	0,2 0,3
Värmeåtervinnande adsorptionstork	- 40	0,5 - 0,6
Köldåtervinnande adsorptionstork	- 20 - 70	1,4 - 1,6

Bild 2: Beroende på vilken tryckdaggpunkt som krävs finns olika lämpliga torkningsmetoder

*) DTP -40 °C för en tredjedel av drifttiden

**) vid ISO 7153 alternativ A

med effektiv intermittent styrning anpassar å andra sidan sin energiförbrukning till förändrade förhållanden samtidigt som de bibehåller en genomgående god tryckluftskvalitet (**Bild. 3**). På det sättet kan du spara i årsgenomsnitt mer än 50 % energi.

Att använda energieffektiv teknik är särskilt viktigt när det gäller att uppnå tryckdaggpunkter i minusgrader, för

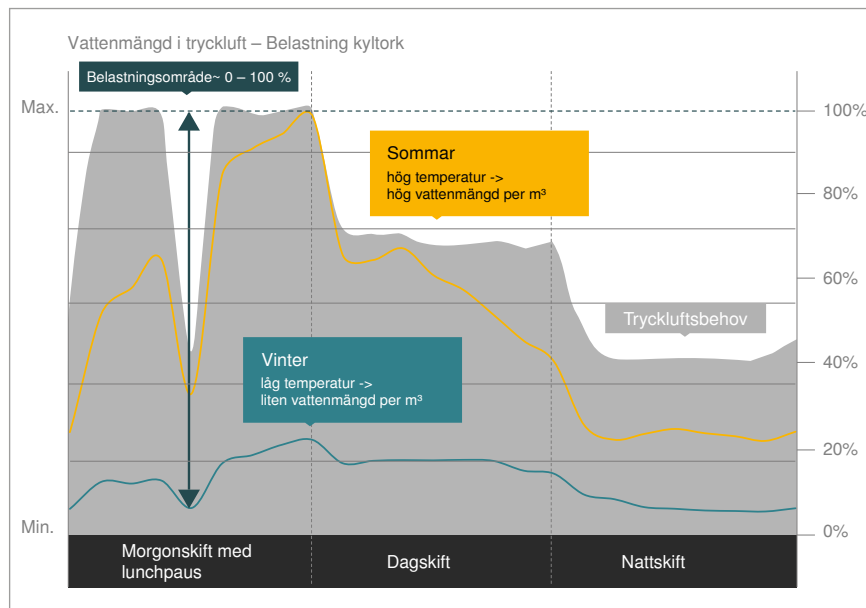


Bild 3: Energibesparingspotential för kyltorkar med intermittent styrning

de adsorptionstorkar som används för det har en mycket hög energiförbrukning. Med ett lika kostnadseffektivt som energieffektivt kombinationsförfarande, HYBRITEC-systemet, går det att här reducera energiförbrukningen avsevärt: Systemet består av en kyltork och en adsorptionstork. Först sänker kyltorken den inströmmande tryckluften energibesparande till en tryckdaggpunkt på +3 °C. Förtorkad på ett sådant sätt når den sedan adsorptionstorken, som nu behöver betydligt mindre energi för att fortsatt avfukta luften till en tryckdaggpunkt på -40 °C (**bild 4**).



Bild 4: Hybritec-system

Automatisk dränering av kondensat

Kondensat är en oundviklig biprodukt vid tryckluftproduktion. Redan en 30-kW-kompressor med ett flöde på 5 m³/min genererar under genomsnittliga driftförhållanden ca 20 liter kondensat per skift. Detta måste avledas ur tryckluftssystemet för att undvika störningar och korrosionsskador. I det här kapitlet får du veta hur du kan dränera kondensatet korrekt och därigenom spara in stora kostnader.

1. Kondensatavledning

I alla tryckluftssystem genereras på bestämda ställen med olika föroreningar belastat kondensat (**bild 1**). En tillförlitlig kondensatdränering är absolut nödvändig. Den har en betydande inverkan på alla tryckluftsanläggningars tryckluftskvalitet, driftsäkerhet och lönsamhet.

a) Kondensatuppsamlings- och dräneringsanordningar

För uppsamling och dränering av kondensat används först mekaniska element i tryckluftssystemet. Där bildas upp till 70 till 80 % av det totala kondensatet – hos kompressorer med god efterkylning.

Cyklonavskiljare:

Denna mekaniska avskiljare skiljer kondensatet från luften med hjälp av centrifugalkraften (**bild 2a**).

För att den ska fungera optimalt, måste den alltid kopplas till en luftkompressor. I större anläggningar är ett avskiljningssystem ofta redan installerat i kompressorn (**bild 2b**), men här finns det betydande skillnader i avskiljningshastigheten beroende på den tekniska lösningen på grund av de strukturella förhållandena.

Mellankylare:

Hos tvåstegskompressorer med mellankylare bildas kondensat även i mellankylarens avskiljare.

Tryckluftsbehållare:

Förutom sin huvudfunktion som ackumulator, skiljer tryckbehållaren kondensatet från luften med hjälp av tyngdkraften (**bild 1**) när den är installerad i det "våta" ledningsområdet. Tillräckligt dimensionerad (kompressorkapacitet/min: 3 = minsta behållarstorlekar i m³) är den precis så



Bild 1: I varje tryckluftssystem bildas kondensat på bestämda ställen

effektiv som en cyklonavskiljare.

Till skillnad från denna kan den även monteras i kompressoranläggningens huvudledning när luftinloppet är nedtill och luftutloppet är upptill. Tack vare sin stora värmestrålningsyta kan behållaren dessutom kyla tryckluften och



Bild 2a: Cyklonavskiljare med kondensatavledare



Bild 2b: Integrerad cyklonavskiljare med kondensatavledare

därigenom förbättra kondensatavskiljningen ytterligare.

Kondensatfälla i tryckluftsledningen:

För att undvika odefinierad strömning hos kondensatet, måste tryckluftsledningen i fuktområdet konstrueras så att alla in- och utlopp är anslutna uppifrån eller från sidan.

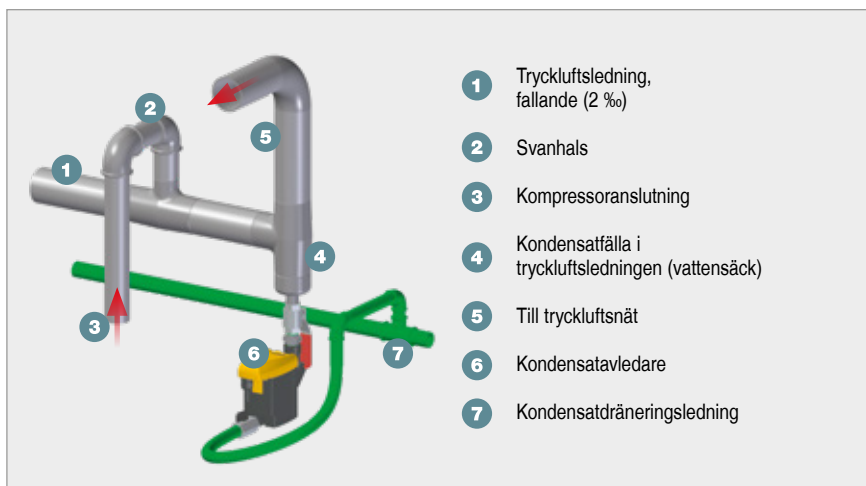


Bild 3: Kondensatfälla med kondensatavledare i ett tryckluftssystemets fuktområde

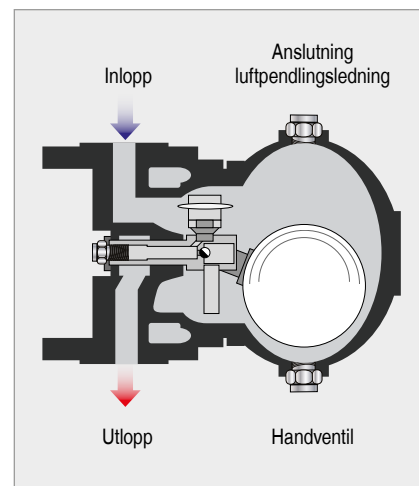


Bild 4: Flottöravledare för tryckluftskondensat

Definierade kondensatutlopp nedåt, s.k. kondensatfällor, leder ut kondensatet från huvudledningen. Med en luftflödes hastighet på 2 till 3 m/s och korrekt konstruktion avskiljer en kondensatfälla (bild 3) i tryckluftssystemets fuktzon kondensat lika effektivt som en tryckluftsbhållare (bild 1).

b) Tryckluftstorkar

Förutom de tidigare nämnda finns det ytterligare kondensatuppsamlings- och dräneringsanordningar för tryckluftstorkning.

Kyltork:

Vid avkylningen och den därigenom föranledda torkningen av tryckluften bildas ytterligare kondensat i kylvorken.

Adsorptionstork:

Genom avkylningen i tryckluftsledningen bildas kondensat redan i förfiltret på adsorptionstorken.

I själva adsorptionstorken förekommer vatten endast i form av ånga p.g.a. de där rådande partikeltrycksförhållandena.

c) Decentrala avskiljare

Om det saknas en central tryckluftstork, bildas stora mängder kondensat vid den vattenavskiljare som är installerad strax framför tryckluftsförbrukarna; inklusive enorma underhållsbehov.

2. Dräneringssystem

I dag används huvudsakligen tre system:

a) Flottöravledare

Flottöravledare hör till de äldsta dräneringssystemen och började användas istället för den fullständigt olönsamma och för osäkra manuella dräneringen. Men även kondensatdränering enligt flottörprincipen (bild 4) är mycket underhållsensiv och störkänslig p.g.a. föroreningarna i tryckluften.

b) Magnetventil

Magnetventiler med tidstyrning är visserligen mer driftsäkra än flottöravledare, men de måste trots det regelbundet kontrolleras med avseende på föroreningar. Felaktigt inställda ventilöppningstider orsakar dessutom tryckluftsförluster och därigenom en ökad energiförbrukning.

c) Kondensatavledare med nivåstyrning

Idag används till största delen dränering med intelligent nivåstyrning (bild 5). Fördelen med det är att den störkänsliga flottöravledaren ersätts med en elektronisk nivåsensor: Det gör att störningar p.g.a. smuts eller mekaniskt slitage är uteslagna. Dessutom förhin-



Bild 5: Kondensatavledare med elektronisk nivåstyrning (modell ECO-DRAIN)

drar exakt beräknade och anpassade ventilöppningstider tryckluftsförluster på ett tillförlitligt sätt. Ytterligare fördelar är den automatiska självövervakningen och möjligheten att signalera till en överordnad styrning resp. ett centralt styrsystem.

d) Rätt installation

Mellan kondensatavskiljningssystemet och kondensatavledaren ska det alltid finnas en kort rörledning med kulventil monterad (bild 2a, 2b och 3). På så vis kan dräneringsanordningen stängas av för underhåll utan att tryckluftsanläggningens drift påverkas.

Ekonomisk och säker behandling av kondensat

Det kondensat som ofrånkomligen bildas vid produktion av tryckluft utgörs absolut inte enbart av kondenserad vattenånga. Varje kompressor fungerar som en överdimensionerad dammsugare: Den suger även in föroreningar med omgivningsluften och leder dessa koncentrerat, via den ännu obehandlade tryckluften, till kondensatet.

1. Varför egentligen kondensatbehandling?

Tryckluftsanvändare som enbart leder bort kondensat till avloppet, riskerar kännbara straff. Orsaken: det kondensat som uppstår vid tryckluftsproduktion är en farlig blandning. På grund av de rådande miljöbelastningarna innehåller det förutom dammpartiklar, även kolväten, svaveloxid, koppar, bly, järn och mycket annat. Tongivande för omhändertagandet av kondensat från tryckluftsanläggningar i Tyskland är vattenhushållningslagen. Den föreskriver att vatten med farligt innehåll ska behandlas enligt "allmänt erkända tekniska regler" (§ 62 WHG). Detta gäller alla typer av tryckluftskondensat – även det från kompressorer med oljefri kompression.

För alla skadliga ämnen och pH-värden finns det gränsvärden i lagstiftningen. De skiljer sig åt mellan branscher och delstater. För t.ex. kolväten är det högsta tillåtna värdet 20 mg/l; pH-värdesområdet för kondensat som får ledas ut i avlopp ligger mellan 6 och 9.

2. Kondensatets egenskaper (bild 2)

a) Dispersion

Tryckluftskondensat kan ha olika beskaffenhet. Dispersion förekommer normalt sett vid vätskekylda skruvkompressorer som drivs med syntetiska kylmedel som "Sigma Fluid S460".

Det kondensatet har i normala fall ett pH-värde på mellan 6 och 9, och kan alltså betraktas som pH-neutralt. Föroreningar från den atmosfäriska luften fastnar i det här kondensatet i ett flytande oljeskikt som lätt kan skiljas från vattnet.

b) Emulsion

Ett synligt tecken på förekomsten av en emulsion är en mjölkaktig vätska som även efter flera dagar inte separeras i två faser. Denna kondensatsammansättning



Bild 1: Vid alla kondensat-uppsamlingsställen i tryckluftssystemet måste det finnas en driftsäker kondensatdränering. Detta uppnås bäst med en elektroniskt styrd kondensatavledare.

förekommer ofta vid kolv-, skruv- och flerkammarskompressorer som drivs med vanliga oljor. Även här är giftiga ämnen bundna i oljans beståndsdelar. På grund av den starka, stabila blandningen kan inte oljan och vattnet, men inte heller insugna föroreningar som t.ex. damm och tungmetaller, separeras med hjälp av tyngdkraften.

När de föreliggande oljorna innehåller

estrar kan kondensatet dessutom vara aggressivt och måste neutraliseras. Behandling av sådant kondensat kan endast ske i en anläggning för emulsionsseparering.

3. Extern avfallshantering

Naturligtvis är det möjligt att samla upp kondensatet och låta specialföretag avfallshandla det. Han-



Bild 2: Varje kompressor suger in vattenånga och föroreningar med den atmosfäriska luften. Det tryckluftskondensat (bild 2 (1)) som bildas måste därför befrias från olja och andra skadliga ämnen (bild 2 (2)) innan det kan ledas ut till avloppet som rent vatten (bild 2 (3)).



Bild 3: Kondensatavskiljningssystem för tryckluftskondensat enligt tyngdkraftsprincipen (funktionsbild)

teringskostnaderna är dock, beroende på kondensatets egenskaper, upp till 500 €/m³ och högre. Med tanke på de stora mängderna kondensat torde därför i de flesta fall en företagsintern behandling vara lönsam. Det har fördelen att endast ungefär 1 % av den ursprungliga kondensatmängden blir kvar och måste avfallshanteras på ett miljömässigt sätt.

4. Behandlingsmetoder

a) för dispersioner

För behandling av denna typ av kondensat räcker det vanligen med en trekammarseparationsenhet med två förseparationskammare och en filterkammare för aktivt kol (bild 3 och 4). Den egentliga avskiljningen sker med hjälp av tyngdkraften. Det oljeskikt som samlas på vätskans yta i avskiljningskammaren leds till en uppsamlingsbehållare och hanteras som spillolja. Det återstående vattnet filtreras därefter i två steg och kan sedan ledas ut i avloppssystemet. I jämförelse med att låta ett specialföretag ta hand om avfallshanteringen kan avskiljning med hjälp av tyngdkraften spara upp till ca 95 % av kostnaderna. För tillfället erbjuds de här enheterna med en kapacitet på upp till 100 m³/min



Bild 4: KAESER kondensatavskiljningssystem AQUAMAT

i kompressorflöde. Självklart går det även att vid större behov parallellkoppla flera enheter.

b) för emulsioner

För behandling av stabila emulsioner används idag huvudsakligen två metoder:

Membransystem fungerar enligt principen om ultrafiltrering med en s.k. cross-flow-metod. Förfiltrerat kondensat strömmar då över membranen. En del av vätskan tränger igenom dem

och lämnar enheten som rent vatten som får ledas ut i avlopp.

Den andra apparattypen arbetar med ett pulveriserat skiljemedel. Det kapslar in oljepartiklar och bildar makroflingor som går lätt att filtrera. Filter med definierad porbredd håller tillbaka de flingorna på ett tillförlitligt sätt. Vattnet kan ledas till avloppet.

Effektiv kompressorstyrning

Bara när kompressorernas flöde är rätt anpassat till varierande tryckluftbehov, går det att i så hög grad som möjligt undvika energikrävande och därmed dyra dellastfaser. En korrekt kompressorstyrning har avgörande betydelse för energieffektiviteten.

Om kompressorer uppvisar en nyttjandegrad på mindre än 50 % varnar systemet om ett högt energislöseri. Många operatörer är inte ens medvetna

1. Intern styrning

a) Fullast-/avlastreglering

I de flesta kompressorer används asynkrona trefasmotorer som drivaggregat.

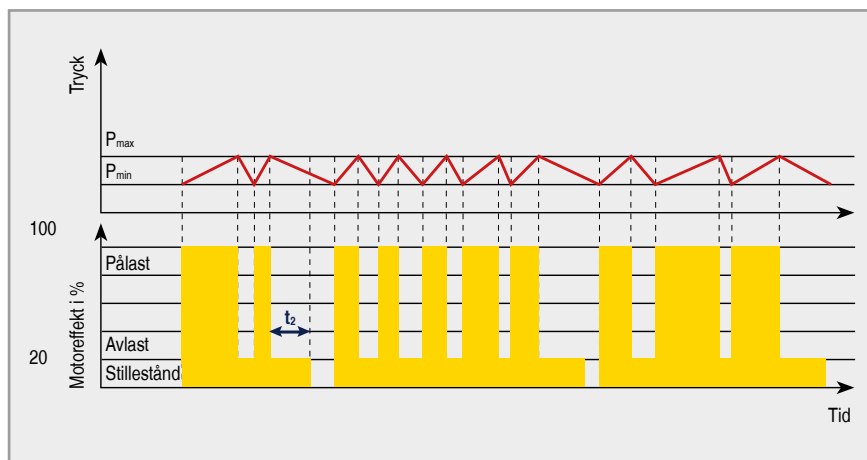


Bild 1: Fullast-/tomgångs-intermittentstyrning med fast inställda tomgångstider, s.k. dualreglering

om det, eftersom kompressorn endast har räkneverk för drifttid, men inte för fullasttimmar. Väl avstämda styrningssystem är lösningen: genom att höja nyttjandegraden till 90 % eller mer, kan du spara energikostnader på 20 % eller mer.

Startfrekvensen hos dessa motorer avtar med tilltagande effekt. Den motsvarar inte den startfrekvens som krävs för att till- och fränkoppla kompressorer med lägre kopplingsdifferens på ett sätt som motsvarar det faktiska tryckluftsbetövet. Omkopplingsprocesserna i

kompressorn avlastar därför endast de tryckbärande områdena.

Motorerna fortsätter att gå under en viss tid (**bild 1**). Den energi som krävs för detta är att betrakta som en förlust. Energibetövet för kompressorer som kopplas på detta sätt ligger även under tomgångsfasen på ca 20 % av fullastenergin.

Moderna datoroptimerade styrssystem som Quadro-reglering med automatisk val av det optimala driftsättet (**bild 3**), dynamisk reglering med tomgångstider betöende på driftsmotorns temperatur (**bild 4**) och varioreglering med variabelt beräknade tomgångstider (**bild 5**) hjälper till att undvika dyr avlast – med fullt motorskydd.

Proportionell reglering via strypning på insugssidan är inte att rekommendera, för då kräver kompressorn vid 50 % produktionskapacitet fortfarande 85 % av den energi som den kräver vid 100 % produktionskapacitet.

b) Frekvensomriktning

Kompressorer (**bild 6**) vars varvtal regleras med frekvensomriktare har inte en konstant verkningsgrad över hela reglerområdet. Det sjunker t.ex. i reglerområdet mellan 30 och 100 % med en 90 kW motor från 96 till 88 %. Till detta kommer förluster i frekvensomriktaren och kompressorernas icke linjära effektförhållande. Kompressorer som regleras med frekvensomriktare bör köras i reglerområdet 40–80 %: Där ligger vanligtvis deras optimala lönsamhet.

Komponenterna bör dimensioneras för 100 % last. Felaktigt använda kan frekvensomriktarsystem bli riktiga energislukare utan att operatören märker det. Frekvensomriktning är inget univer-



Bild 2: Moderna styrssystem kan spara upp till 20 % energi.

salmedel för en så energisparande drift som möjligt av kompressorer.

2. Klassificering av tryckluftbehovet

Normalt klassificeras kompressorer efter funktion, d.v.s. baslast-, medellast-, topplast- eller stand-by-anläggning.

a) Baslastbehov

Med baslastbehov avser man den för produktionen nödvändiga tryckluftsmängd, som ett företag konstant har behov av.

b) Topplastbehov

Topplastbehovet är den tryckluftsmängd som krävs vid perioder av förbrukningstoppar. Det är olika stort på grund av de olika förbrukarnas skiftande krav.

För att kunna utföra de olika lastfunktionerna så bra som möjligt måste kompressorerna drivas med olika reglersätt.

De interna styrningarna måste även om ett överordnat styrsystem slutar fungera kunna upprätthålla kompressordriften och därmed tryckluftsförsörjningen.

3. Maskinövergripande styrning

Moderna maskinövergripande styrningar med webbaserad programvara kan inte bara samordna kompressordriften i en tryckluftsstation på ett optimalt energieffektivt sätt. De klarar också av att registrera uppgifter om lönsamhet och dokumentera tryckluftsförsörjningens effektivitet. Dessutom, genom att överföra processdata till tillverkaren, kan de tjäna som bas för modern anläggningsstyrning med övervakning, analys och förebyggande underhåll.

a) Anläggningssplittning

Med splittning avses en uppdelning av kompressorer med lika eller olika effekt och reglersätt, utifrån ett företags bas- och topplastbehov (bild 7).

b) Uppgifter maskinövergripande styrningar

Koordinationen av kompressordriften är en komplicerad och omfattande uppgift. Maskinövergripande styrningar måste inte enbart kunna aktivera kompressorer av olika modeller och storlekar vid rätt tidpunkt.

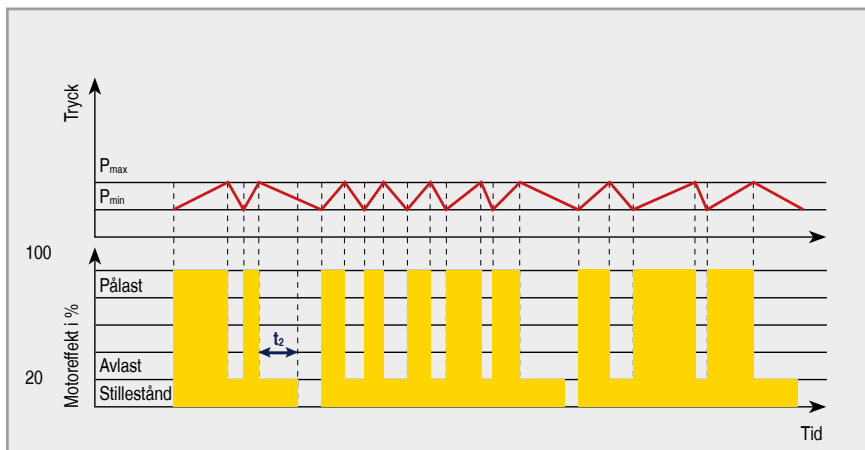


Bild 3: Fullast-/tomgångs-intermittentstyrning med automatiskt val av det optimala driftsättet, s.k. Quadro-reglering

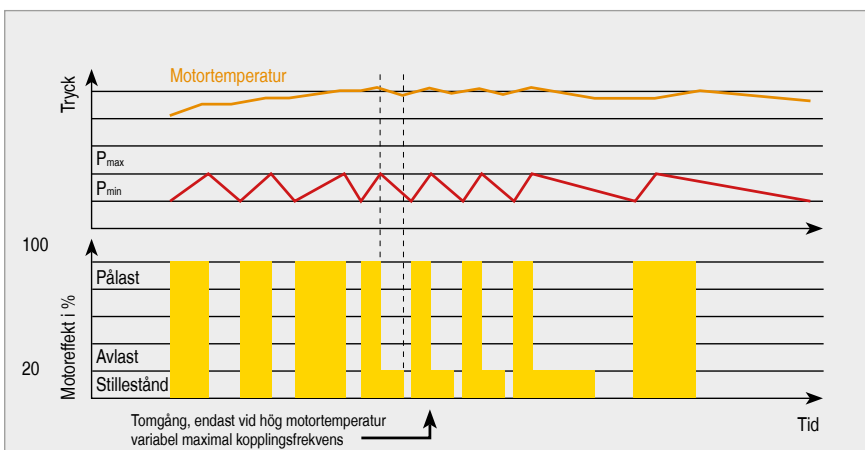


Bild 4: Dynamisk reglering, baserat på dualreglering, med tomgångstider beroende på driftsmotorns temperatur

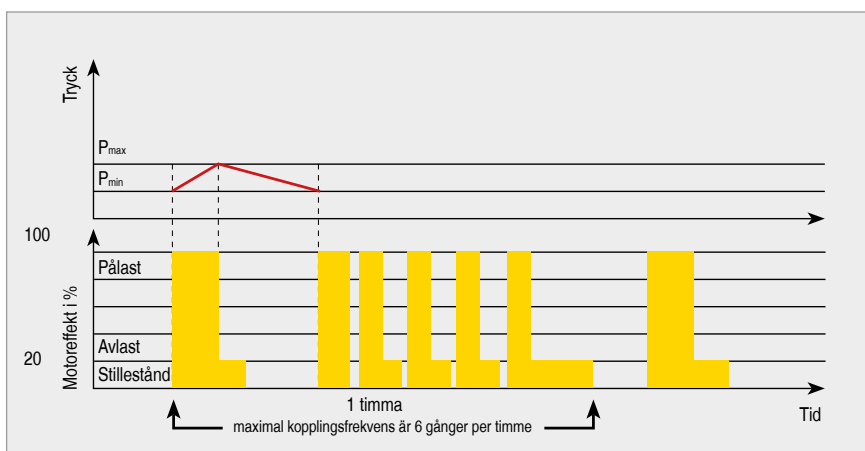


Bild 5: Varioreglering med variabelt beräknade tomgångstider

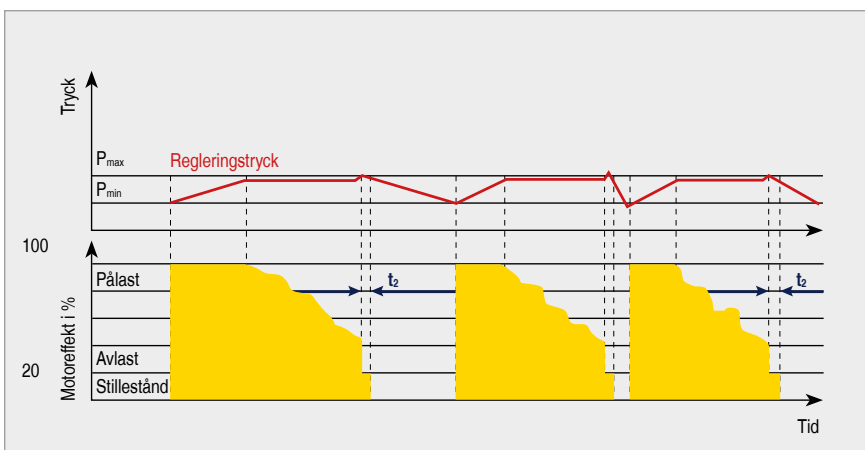


Bild 6: Kontinuerlig flödeskontroll via motorvarvtalet (frekvensomriktning)

Effektiv kompressorstyrning

De måste dessutom kunna övervaka anläggningen underhållstekniskt, kunna jämföra kompressorernas driftstider och registrera fel för att sänka tryckluftsstationens servicekostnader och höja driftsäkerheten.

c) Rätt dimensionering

En viktig förutsättning för en effektiv – d.v.s. energisparande – maskinövergripande styrning är en korrekt dimensionering av kompressorerna. Summan av topplastmaskinernas flöde måste vara större än flödet hos nästa baslastmaskin som ska aktiveras. Vid användning av en varvtalsreglerad kompressor för topplast måste dess reglerområde vara större än kapaciteten hos nästa kompressor som ska aktiveras. I annat fall kan inte tryckluftsförsörjningens lönsamhet garanteras.

d) Säkert informationsflöde

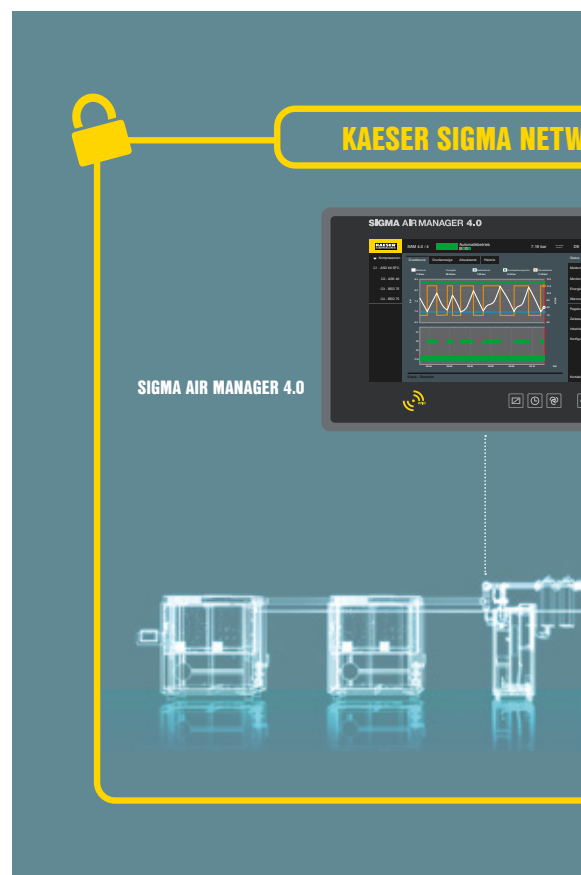
En annan viktig förutsättning för korrekt funktion och effektivitet hos en maskinövergripande styrning är en säker dataöverföring.

I detta syfte måste det säkerställas att inte bara meddelanden överförs inom de enskilda kompressorenheterna, utan också mellan kompressorerna och det överordnade styrsystemet. Dessutom måste signalvägen övervakas, så att störningar som t.ex. brott i en anslutningskabel, genast registreras.

De vanligaste överföringsvägarna är:

1. Potentialfria kontakter
2. Analoga signaler 4–20 mA
3. Elektroniska gränssnitt till exempel Profibus DP, Modbus eller Ethernet.

Industrial Ethernet ger den modernaste överföringstekniken. På det sättet kan stora datamängder utan problem överföras på kort tid över stora avstånd. Kombinerat med modern överföringsteknik erbjuder den möjlighet till visualisering och anslutning till standardiserade dator- och övervakningssystem. Därigenom måste inte överordnade styrsystem nödvändigtvis vara placerade i tryckluftsstationen (bild 8).



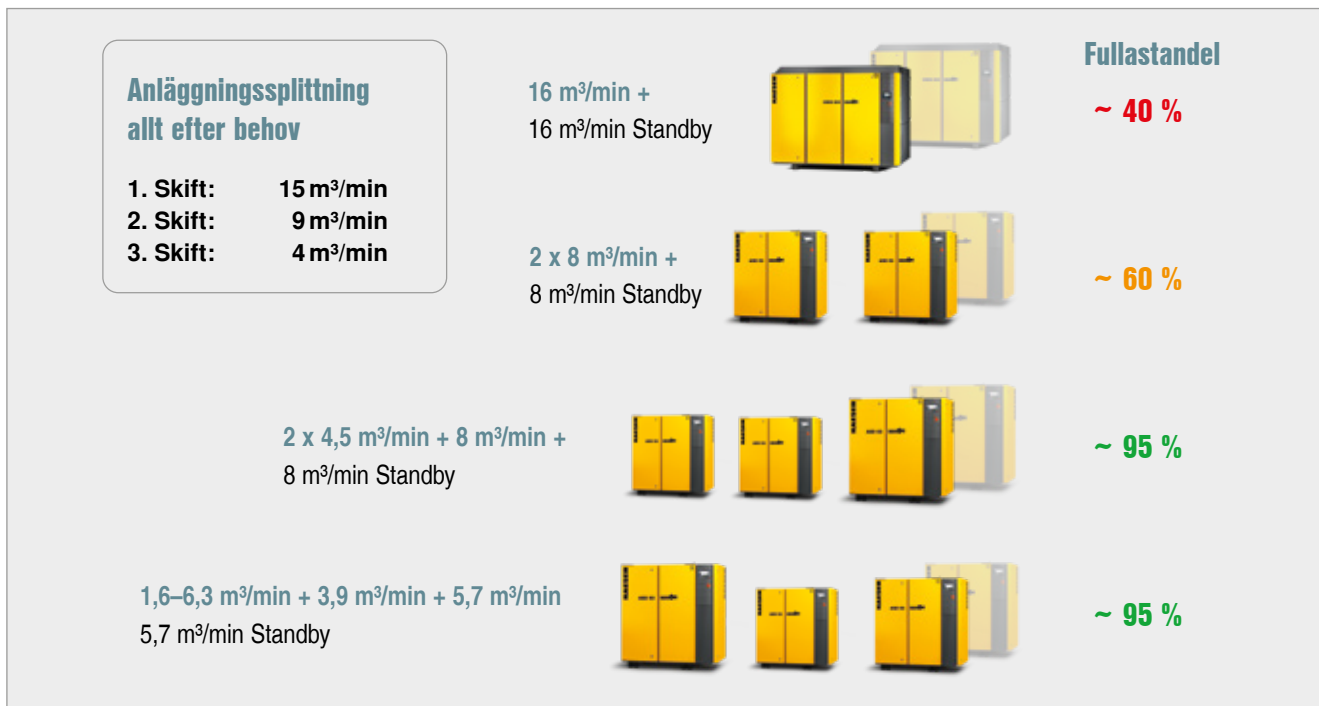
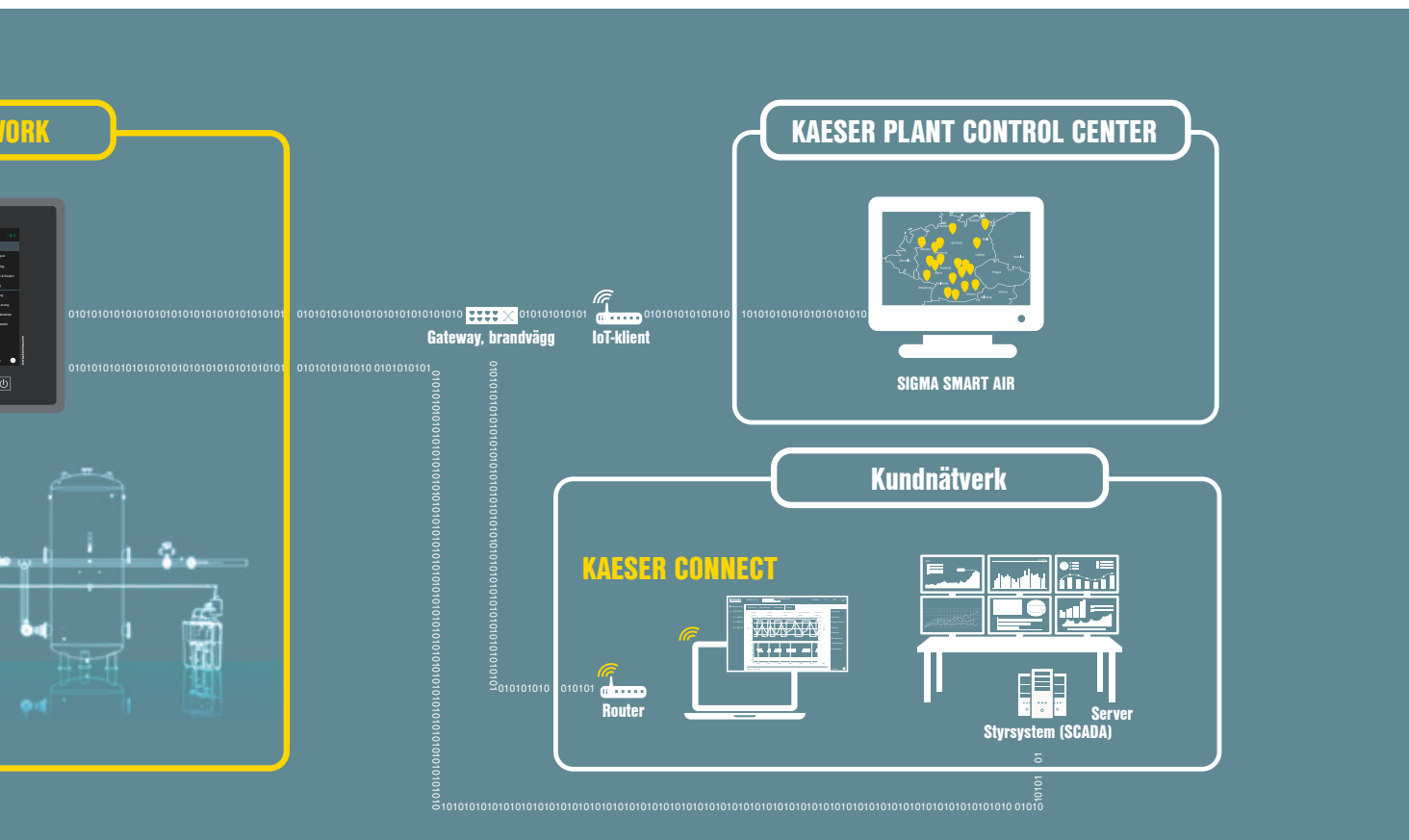


Bild 7: Behovsstyrd lastfördelning på kompressorer med olika kapacitet

Bild 8: Den överordnade styrningens omfattande kopplingsmöjligheter bidrar till effektiv drift av tryckluftsstationen



Optimal förbrukningsorienterad avstämning av kompressorer

Tryckluftstationer består i allmänhet av flera kompressorer av samma eller olika storlekar. För att koordinera de här enskilda maskinerna krävs en maskinövergripande styrning: tryckluftproduktionen måste avstämmas optimalt till användarens behov, samtidigt måste högsta möjliga energieffektivitet uppnås.

De allmänt som kompressorstyrningar betecknade systemen gäller i enlighet med regleringstekniken som styrningar. De fördelar sig på fyra grupper:

1. Kaskadstyrning

Det klassiska sättet att koppla ihop kompressorer styrningstekniskt är kaskadstyrning. Varje kompressor tilldelas en övre och en nedre kopplingspunkt. Om flera kompressorer ska koordineras, bildar man ett trapp- eller kaskadliknande styrningssystem. Vid lågt luftbehov kopplar endast en kompressor till, och trycket pendlar då i det övre området mellan minimalt tryck ($p_{\min}$) och maximalt tryck ($p_{\max}$) för kompressorn, medan vid högre luftbehov flera kompressorer kopplas till och trycket faller (**bild 1, kolumn 1**). Detta ger en relativt ogynnsam konstellation: Vid lågt luftbehov råder maximalt tryck i systemet och höjer energiförlusten genom läckage; vid hög förbrukning sjunker trycket och systemets tryck-

reserv reduceras. Beroende på om konventionella membrantryckströmbrytare, kontaktmanometer eller elektronisk tryckgivare används som mätvärdesgivare, är styrsystemets tryckdifferenser beroende på kompressorernas tilldelning till bestämda tryckområden väldigt stora. Ju mer kompressorer används, desto större blir de totala tryckområdena.

Detta leder till ineffektiva styrningar med, som redan nämnts, ökade tryck, läckage och energiförluster. Kaskadstyrning ska därför när mer än två kompressorer kombineras ersättas av andra styrningsmetoder.

2. Tryckbandsstyrning

I motsats till kaskadstyrning erbjuder tryckbandsstyrning (**bild 1, kolumn 2**) möjligheten att koordinera driften av flera kompressorer i ett bestämt tryckområde. Därmed kan tryckområdet, inom vilket hela tryckluftstationen regleras, begränsas relativt mycket.

2. a) Enkel tryckbandsstyrning

Enkla versioner av tryckbandsstyrningen kan dock inte koordinera driften av kompressorer i olika storlekar; de motsvarar därför inte kraven på topplasthantering i tryckluftsnät, som ständigt måste klara växlande behovssituationer.

Därför måste denna metod utvidgas med ett system som försöker styra de i varje läge passande kompressorerna utifrån tryckminsknings- eller tryckökningstider, och på det sättet säkra tryckluft-topplastbehovet. Denna styrningsegenskap kräver emellertid en relativt stor tryckbandsdifferens (**bild 2**). På liknande sätt som vid kaskadreglering tas heller inte hänsyn till kompressorernas och tryckluftsnätets reaktioner, vilket gör att den minsta möjliga tryckpunkten underskrids. Därför är det nödvändigt att koppla in ett säkerhetsavstånd mellan det nödvändiga lägsta trycket och det nedersta kopplingstrycket.

2. b) Börtrycksrelaterad Tryckbandsstyrning

En avgörande förbättring förde den börtrycksrelaterade tryckbandsstyrningen (**bild 1, kolumn 3**) med sig. Detta syftar till att upprätthålla ett visst fördefinierat genomsnittligt börtryck inom definierade tryckgränser, samtidigt som tryckkurvan övervakas inom snävare gränser och därmed aktiverar kompressorer av olika storlekar beroende på tryckluftsförbrukningen. Den speciella fördelen med denna styrvariant är möjligheten att avsevärt sänka tryckluftssystemets genomsnittliga drifttryck och på det sättet åstadkomma stora energi- och kostnadsbesparingar.

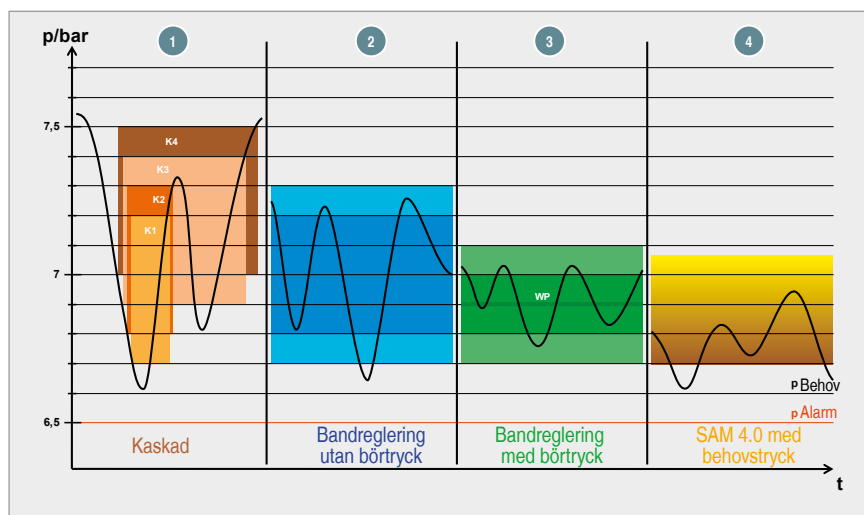


Bild 1: Olika varianter av överordnad kompressorstyrning

3. Behovstrycksstyrning

Behovstrycksstyrningen (**bild 1**, **kolumn 4**) erbjuder det i dag regeltekniskt bästa alternativet. Med denna variant anges inte längre några fasta tryckgränser och kopplingspunkter utan det lägsta möjliga drifttryck, som inte får underskridas på trycksensorns mät punkt. Genom att observera och registrera tryckluftsförbrukningen och de växlingsoperationer som utförs analyseras händelserna i tryckluftssystemet och de viktigaste faktorerna som påverkar stationens och dess komponenters beteende lärs in. Med hänsyn till alla möjliga förluster som orsakas av tryckökning, start-, reaktions- och tomgångstider (**bild 3**) förutser det simuleringsbaserade optimeringsförfarandet i den överordnade styrningen SIGMA AIR MANAGER 4.0 de mest effektiva omkopplingarna i realtid. Den avgörande faktorn för besluten är att uppnå de lägsta kostnaderna för produktion av tryckluft – samtidigt som det specificerade tryckbehovet bibehålls (**bild 4**).

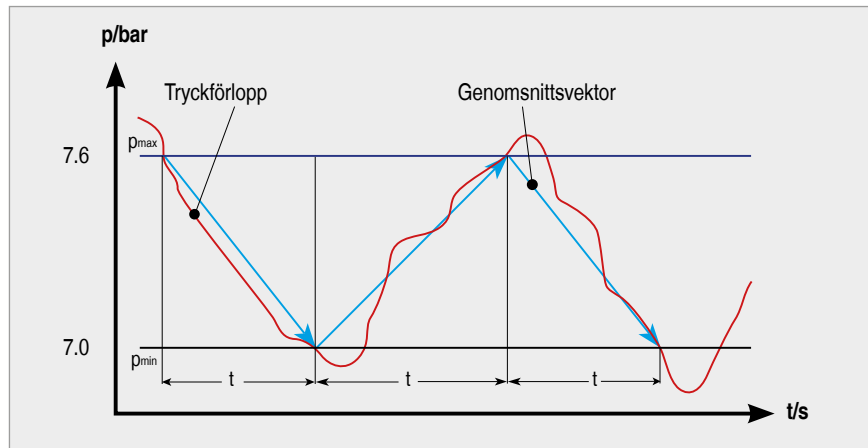


Bild 2: Enkel tryckbandsstyrning med genomsnittlig utvärdering av tryck-tidsförloppet och stor tryckbandsdifferens

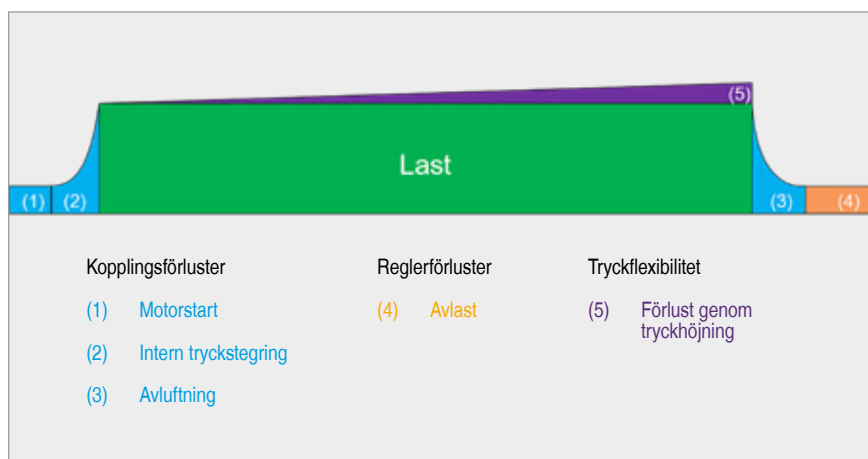


Bild 3: En skruvkompressors omkopplingscykel

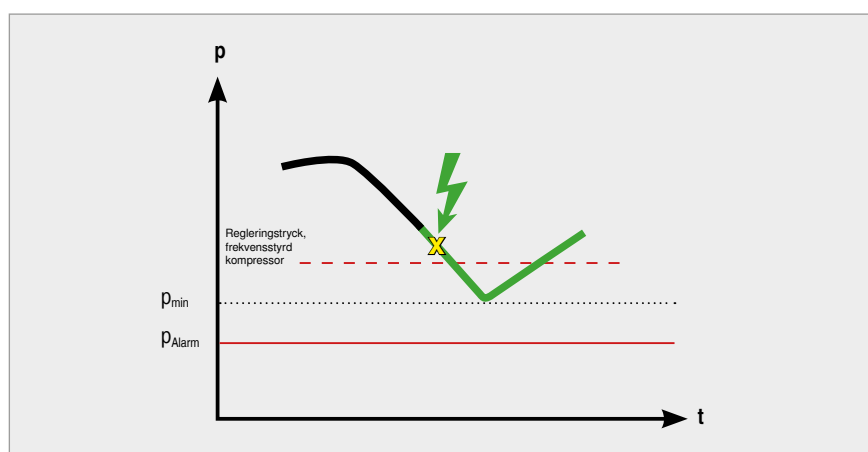


Bild 4: Systemet förhindrar att trycket underskrider det angivna minimitrycket genom att slå på i god tid

Energibesparing med värmeåtervinning

Med de kontinuerligt ökande kostnaderna för energi är sparsam hantering av energikällor inte enbart en ekologisk, utan även i ökande grad ekonomisk nödvändighet. Kompressorertillverkarna erbjuder många möjligheter till det, som t.ex. värmeåtervinningen hos skruvkompressorer.

1. Kompressorer genererar i första hand värme

Faktum är att 100 % av den energi som tillförs en kompressor omvandlas till värme. Genom komprimering laddas luften i kompressorn med en energipotential (**bild 1**). Den motsvarande energimängden kan användas genom avspänning till omgivningstryck, avkylning och värmeupptagning från omgivningen.

2. Möjligheter med värmeåtervinning

Den som är intresserad av en ännu mer lönsam tryckluftsanvändning kan välja mellan olika varianter av värmeåtervinning:

a) Varmluftsuppvärmning

Den enklaste möjligheten för värmeåtervinning på luft- och olje- resp. vätskekylda skruvkompressorer är den direkta användningen av den kylluft som kompressorn värmer upp. Spillvärmens leds via ett luftkanalsystem till de utrymmen som ska värmas upp.

Naturligtvis kan även varmluften användas för andra ändamål som torkningsprocesser, portridåer eller förvärmning av förbränningsluft. Om ingen värme är erforderlig, leds frånluftsströmmen ut utomhus genom manuell eller automatisk aktivering av ett spjäll eller en jalsu. En termostatiskt reglerad jalsustyrning gör det möjligt att dosera varmluften så exakt att en konstant temperatur alltid uppnås. Med denna variant är upp till 96 % av en skruvkompressors elektriska effektförbrukning användbar. Den kan löna sig även vid små kompressorer, eftersom redan med spillvärmens från en 7,5-kW-kompressor går det utan problem att värma upp ett enfamiljshus.

b) Uppvärmning av varmvatten

Installationen av en värmeväxlare i vätskekretsen gör det möjligt att producera varmvatten för olika ändamål med

både luft- och vattenkylda skruvkompressorer. För detta ändamål används vanligtvis plattvärmväxlare eller säkerhetsvärmväxlare, eller så överförs värmen via en mellankrets - beroende på om varmvattnet ska användas för uppvärmning, som dusch- och tvättvatten eller i produktions- och rengöringsprocesser (**bild 3**).

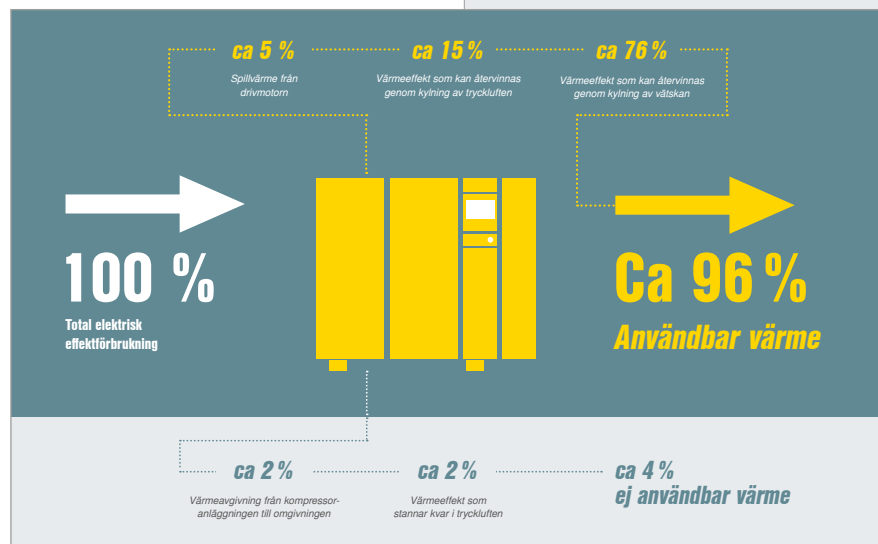
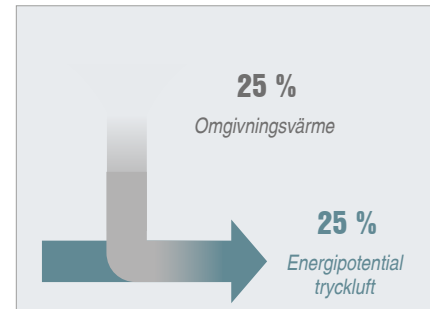


Bild 1: Värmeflödesdiagram

Med dessa värmeväxlare går det att nå vattentemperaturer på upp till 70 °C. De ytterligare användningarna för denna värmeåtervinning lönar sig i kompressor-anläggningar från en driveffekt på 7,5 kW inom två år, visar erfarenheten. Korrekt planering är dock en förutsättning för detta (**bild 2**).

3. Säkerhetsanvisningar

Normalt sett bör kompressorns primärkylsystem aldrig samtidigt användas som värmeåtervinningssystem. Vid eventuella problem med värmeåtervinningen vore annars även



Fig 2: Korrekt koppling av kompressorer till ett värmeåtervinningssystem

kompressorkylningen och därmed tryckluftproduktionen i fara. Det är därför klokt att alltid bygga in speciella värmeväxlare för värmeåtervinningen i kompressorsystemet. Då kan nämligen kompressorn själv sörja för sin säkerhet vid fel: Om ingen värme avleds via fluid-vattenvärmeväxlaren i värmeåtervinningssystemet, kopplar kompressorn internt om till det primära luft- eller vattenkylsystemet. Därmed förblir tryckluftsförsörjningen även i fortsättningen säkrad.

4. Upp till 96 % användbar energi

Den största delen av den använda och som värme utnyttjbara energin, hela 76 %, hittas i kompressorer med olje- eller vätskeinsprutningskylning i kylmediet, 15 % i tryckluften och upp till 5 % i eldrivmotorns värmeförlust. Vid fullt ljudämpade olje- eller vätskekylade skruvkompressorer låter sig till och med dessa energiförluster i elmotorn att återvinnas som värmeenergi genom målinriktad kylning. Totalt går alltså upp till 96 % av den för kompressorn använda energin att använda termiskt. Endast 2 % går förlorad genom värmestrålning och 2 % värme stannar kvar i tryckluften (bild 1).

5. Facit

Värmeåtervinning är definitivt en möjlighet som är värd att överväga för att öka lönsamheten för en tryckluftsanläggning och samtidigt avlasta miljön. Det nödvändiga arbetet är förhållandevis lågt. Investeringens kostnad bestäms av de lokala förutsättningarna på företaget, användningsändamålet och den valda metoden för värmeåtervinning (bild 4).

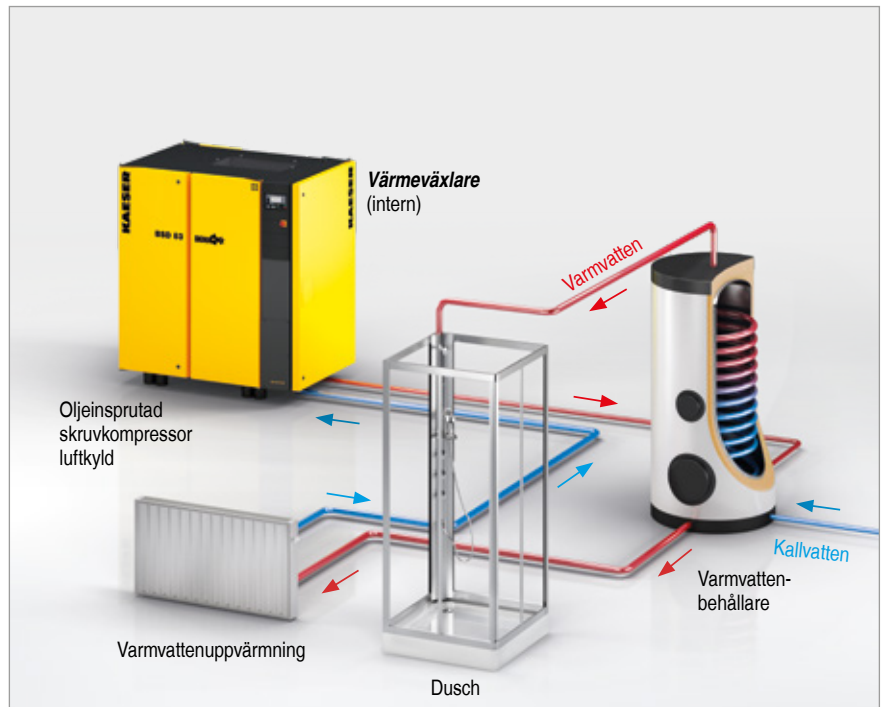


Bild 3: Schema för värmeåtervinning för varmvattenanvändning

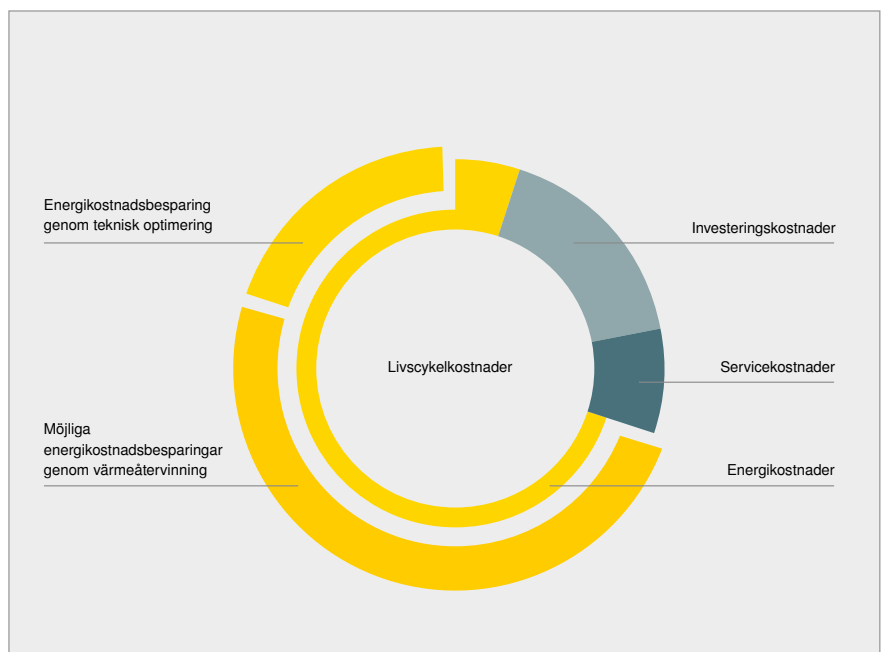


Bild 4: Värmeåtervinning erbjuder en betydande ytterligare energikostnadsbesparingspotential

Planering av tryckluftsnät

Tryckluft är framför allt en lönsam energikälla då produktionen, behandlingen och distributionen är avstämda mot varandra så bra som möjligt. Till det hör, utöver korrekt planering och utförande av själva tryckluftsstationen, även lämplig dimensionering och installation av tryckluftsnätet.

1. Lönsam tryckluftproduktion

Om man tar hänsyn till alla kostnader för energi, kylmedel, underhåll och avskrivningar, så kostar varje kubikmeter tryckluft mellan 1 och 3 cent, beroende på kompressorns storlek, belastning, underhållstillstånd och modell. Många företag lägger därför särskilt stor vikt vid lönsam tryckluftproduktion. Det är också skälet till segertåget för olje- resp. vätskekylida skruvkompressorer: Med dem går det att spara upp till 20 % av tidigare kostnader för tryckluftproduktion.

2. Behandlingen påverkar tryckluftsnätet

Tyvärr får korrekt dimensionerad tryckluftproduktion mindre uppmärksamhet. Detta är tråkigt, eftersom endast bra behandlad tryckluft håller underhållskostnaderna låga för tryckluftsförbrukarna och rörledningsnätet. Där rörledningar transporterar fuktbelastad, ännu inte torkad tryckluft, måste under alla omständigheter rörledningsmaterial med korrosionsskydd användas. Annars måste man se upp så att inte bristfälliga rörledningar på nytt försämrar den tryckluftkvalitet som uppnåtts genom behandlingssystemet.

a) Kyltorkar minskar underhållsbehovet

Vid ca 80 % av alla användningstillfällen räcker kyltorkar för tryckluftproduktionen. De gör att man slipper de filter i rörledningsnätet som ofta medför tryckförluster och kräver endast 3 % av de energikostnader som kompressorn orsakar vid motsvarande tryckluftsmängd. Till detta kommer kostnadsbesparingar i form av färre underhålls- och reparationsarbeten på rörledningar och tryckluftsförbrukare, som är tio gånger större än den kostnad som kyltorken orsakar.

b) Platssparande kombinationer

För mindre företag eller decentraliserad försörjning finns det även platssparande kombinationer av skruvkompressor, kyltork och tryckluftsbhållare (bild 1) på marknaden.

3. Planering och installation av ett tryckluftsnät

Först måste det alltid fastställas om tryckluftsförsörjningen ska monteras centralt eller inte. För mindre eller medelstora företag är oftast central försörjning lämpligast: här förekommer normalt sett inte de problem som kan uppstå vid ett stort centralt tryckluftsnät: höga installationskostnader, frostrisk för dåligt isolerade utomhusledningar på vintern och ökad tryckfall p.g.a. långa ledningar.

a) Korrekt dimensionering av nätet

För dimensionering av ett ledningsnät är det nödvändigt att göra en beräkning. Den grundar sig på ett maximalt tryckfall på 0,1 bar mellan kompressor och tryckluftsförbrukare, förutom standardtryckluftbehandlingen (kyltorkning) och kompressorns omkopplingsskillnad.



Bild 1: Den moderna tryckluft-kompaktstationen AIRCENTER för platssparande tryckluftproduktion, -behandling och lagring

I enskilda fall räknar man med följande tryckförluster (bild 2):

Huvudledning (1)	0,03 bar
Fördelningsledning (2)	0,03 bar
Tillkopplingsledning (3)	0,04 bar
Tork (4)	0,20 bar
Efterbehandlingsenhet och Slang (5)	0,50 bar
Totalt max.	0,80 bar

Denna uppställning visar hur viktigt det är att beräkna tryckförlusterna i de enskilda ledningsavsnitten. Därvid måste hänsyn även tas till formdelar och avstängningsenheter. Det räcker inte att sätta in antalet meter raka rör i en beräkningsformel eller tabell.

Det är istället rörledningarnas flödestekniska längd som måste fastställas. Normalt sett har man dock vid planeringens start ingen överblick över alla formdelar och avstängningsenheter. Därför beräknar man den flödestekniska rörlängden genom att multiplicera det planerade antalet meter raka rör med faktorn 1,6. Rörledningsdiametern kan enkelt fastställas med hjälp av normala formler (bild 3) eller dimensioneringsdiagram.

Med hjälp av KAESER-Toolbox (<https://www.kaeser.com/int-en/services/know-how/calculator>) är dessutom dimensionering möjlig.

b) Lägga rörledningar energisnålt

För att spara energi är det viktigt att rörledningssystemet dras fram så rakt som möjligt. Böjar, som t.ex. dras runt stödpelare, kan undvikas genom att rörledningen dras i rak linje bredvid hindret. Skarpa, 90 graders hörn som orsakar stora tryckförluster kan enkelt ersättas med kraftigt dimensionerade 90-graders-böjar. Istället för de ofta förekommande vattenavstängningsenheterna bör kulventiler eller

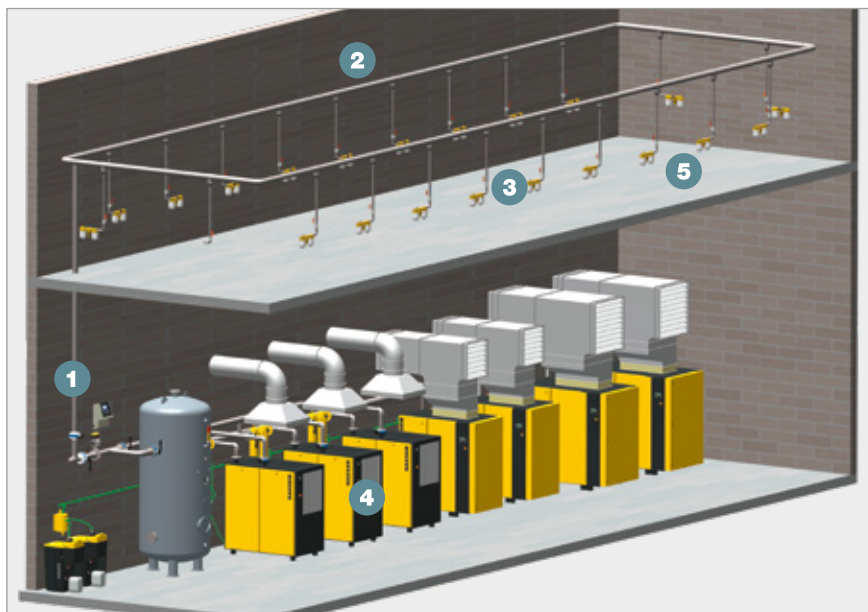


Bild 2: Huvudbeståndsdelar i ett tryckluftsfördelningssystem: Huvudledning (1), fördelningsledning (2), tillkopplingsledning (3), tork (4), underhållsenhet/slang (5)

spjällventiler med genomgående passage användas.

I områden med fuktrörledningar, på moderna tryckluftsstationer endast i kompressorummet, ska in- och utlopp från huvudledningen dras uppåt eller åtminstone åt sidan. Huvudrörledningen bör ha ett fall på två promille. Vid ledningens djupaste punkt ska en möjlighet till condensatavskiljning finnas. I torrområdet däremot kan ledningarna dras horisontellt och rörledningsut-

arna. Inte heller anskaffningspriset räcker ensamt som beslutsunderlag: förzinkade rör, koppar- eller plaströr har ungefär samma prisnivå när man räknar ihop material- och installationskostnaderna. Priserna för rör av rostfritt stål ligger ungefär 20 % högre. Effektivare bearbetningsmetoder har dock även här med tiden möjliggjort prissänkningar.

Nuförtiden erbjuder många tillverkare tabeller där de optimala villkoren för varje rörledningsmaterial listas. Före ett investeringsbeslut är det därför lämpligt att studera de tabellerna noga, ta hänsyn till belastningar i den framtida produktionen och därefter ställa samman en kravspecifikation för rörledningarna. Bara på det sättet går det att göra ett riktigt bra val.

Beräkningsformel:

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 \times V^{1,85} \times L}{\Delta p \times p_s}}$$

d_i = rörets innerdiameter (m)
 p_s = systemtryck (absolut i Pa)
 L = nominell längd (m)
 V = flöde (m³/s)
 Δp = tryckförlust (Pa)

Bild 3: Beräkningsformel för fastställande av innerdiametern

gångarna ledas rakt neråt.

c) Vilket rörledningsmaterial är rätt?

Här går det inte att ge några bestämda rekommendationer gällande materialegenskaper, i kompressorer ska dock alltid ledningar av metall användas på grund av de höga termiska belastning-

d) Viktigt: rätt kopplingsteknik

I traditionell anslutningsteknik ska rörledningsdelar antingen svetsas eller limmas ihop alternativt monteras ihop med skruvar och lim. Även om demonteringen blir svårare, kan man dock vara säker på att sådana anslutningar reducerar eventuella läckage till ett minimum. Samtidigt används presskopplingar även på kopparrör, rostfria rör och kolstålsrör i stor utsträckning. Materialet på den O-ring som används för tätning beror på flö-

desmediet och driftförhållandena. Det är i huvudsak pressverktyget som avgör kvaliteten på kopplingen, och det behövs inga extra material för att skapa presskopplingar.

Modernisering/renovering av tryckluftsnät

År efter år går i många företag tusentals kronor bokstavligt talat upp i rök. Orsaken: ett föråldrat och/eller bristfälligt underhållet rörledningsnät driver upp tryckluftssystemets energibehov. Den som vill åtgärda dessa brister måste överväga noga. Nedan tipsar vi om hur ett trycklufts-rörledningsnät kan saneras.

1. Grundförutsättning:

torr tryckluft

Redan vid planeringen av ett nytt tryckluftsnät kan många fel och därmed senare problem undvikas. Renovering av ett gammalt nät är dock ofta förknippat med svårigheter. Det är framför allt ett så gott som hopplöst projekt när fuktig tryckluft ska användas i nätet även i fortsättningen. Innan en ombyggnad påbörjas måste därför alltid en central torkenhet finnas tillgänglig.

2. Vad ska man göra åt stora tryckfall i nätet?

Om tryckfallet i ledningsnätet är mycket stort även efter att en lämplig behandlingsanläggning installerats, så är orsaken avlagringar i rören. De uppstår genom föroreningar som förs med tryckluften och reducerar strömningsdiametern till ett minimum.

a) Byta ut eller blåsa rent

Om dessa avlagringar redan har torkat in, så är för det mesta ett byte av rörledningarna det enda som hjälper. Ofta är det emellertid möjligt att blåsa ur och därefter torka ledningarna för att åstadkomma en större strömningsdiameter, när avlagringarna ännu inte gjort rören avsevärt trängre.

b) Installation av kompletterande ledningar

En bra möjlighet att utvidga rörledningar som blivit för trånga, är att dra en parallellledning som är kopplad till originalledningen. Om det är ringledningar som har blivit för trånga går det att dra en andra ring (**bild 1**). Om ett sådant dubbellednings- eller dubbelrings-system är korrekt dimensionerat kan förutom den huvudsakligen avsedda effekten – en kännbart minskning av tryckförlusten – dessutom fördelen av en mer tillförlitlig tryckluftsfördelning bli resultatet.

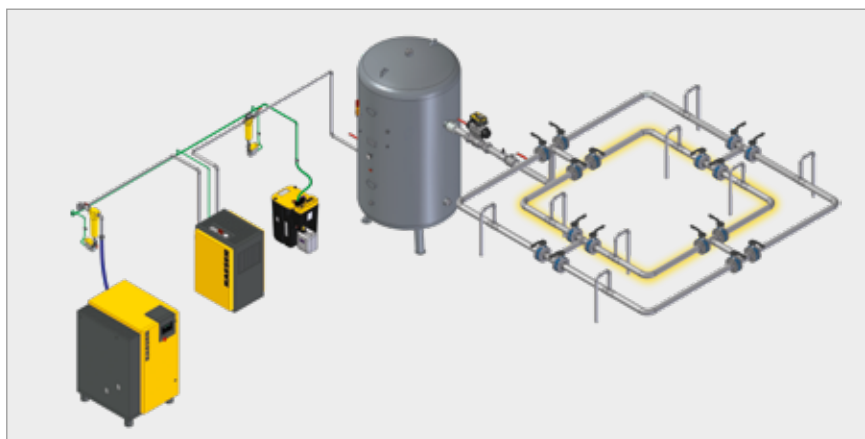


Bild 1: Sanering av en trycklufts-rörledning genom installation av en andra ledningsring

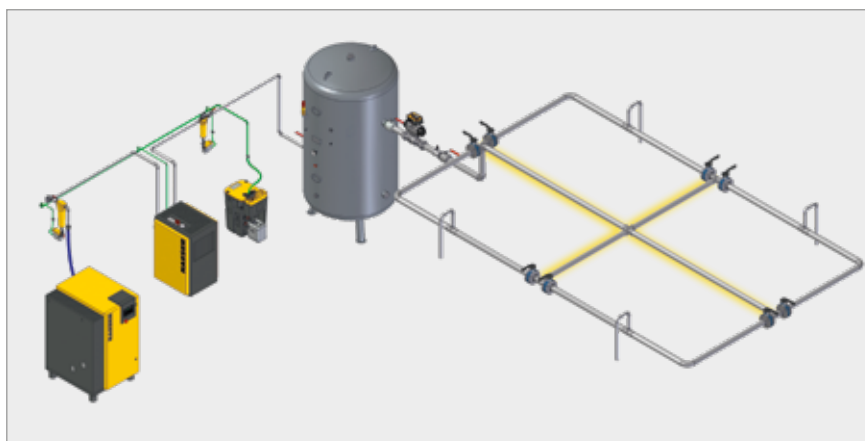


Bild 2: Utvidgning av ledningskapaciteten med hjälp av så kallade korsade rör

En annan renoveringsmöjlighet för ringledningar är att utvidga systemet med så kallade korsade rör (**bild 2**).

3. Spåra och eliminera läckage

Renoveringsåtgärder ger naturligtvis endast optimalt resultat, om läckorna i tryckluftsnätet samtidigt åtgärdas.

a) Fastställa den totala läckagemängden

Innan man ger sig ut för att söka efter enskilda otäta ställen i rörledningssystemet, måste läckagets totala

omfattning fastställas. För det finns en enkel metod: Först frångöps alla tryckluftsförbrukare och sedan mäts inkopplingstiden för kompressorn under en bestämd tidsperiod (**bild 3**). Med hjälp av denna mätning kan läckaget beräknas med hjälp av följande formel:

$$VL = \frac{VK \times \sum t_x}{T}$$

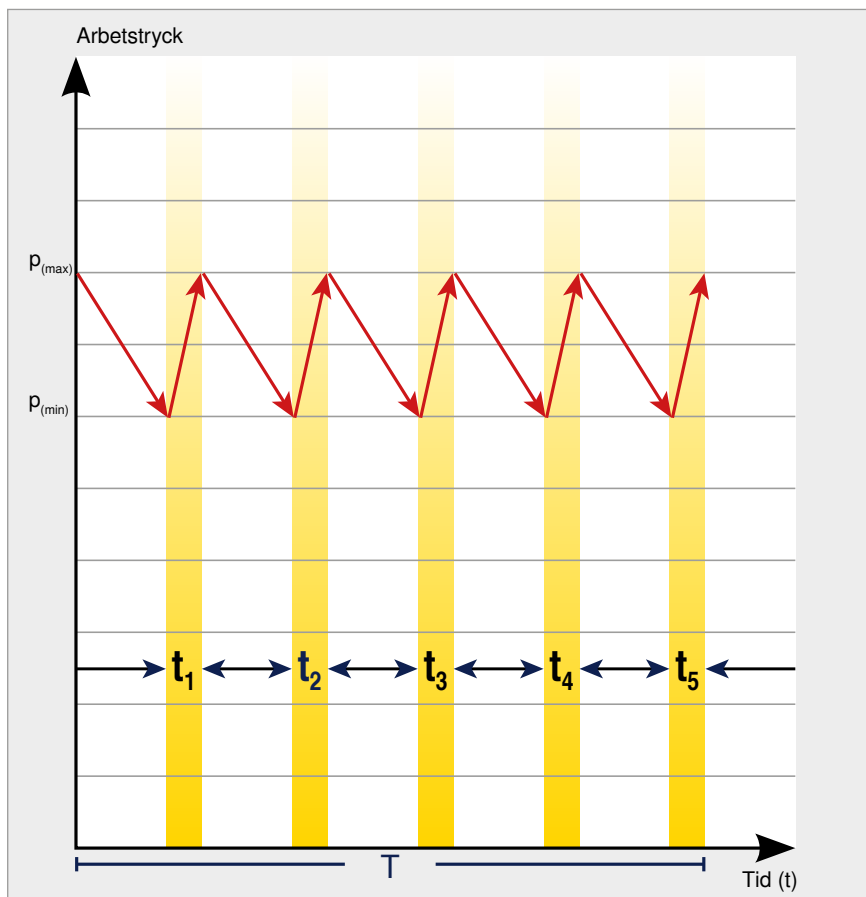


Bild 3: Fastställande av läckage genom mätningar av kompressorernas inkopplingstider vid bortkopplade tryckluftsförbrukare

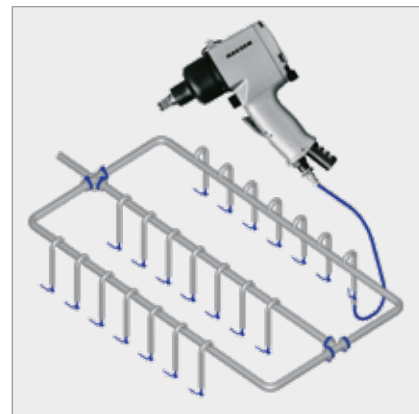


Bild 4: Läckagemätning på tryckluftsförbrukaren + rörledningsnätet

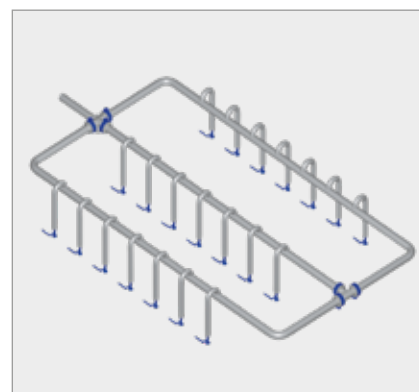


Bild 5: Läckagemätning på rörledningsnätet

Teckenförklaring:

VL	= Läckagemängd (m^3/min)
VK	= Flöde hos kompressorn (m^3/min)
Σtx	= $t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$ Tid under vilken kompressorn körs belastad (min)
T	= Total tid (min)

b) Fastställande av läckage i förbrukarna

För att fastställa läckaget vid decentrala tryckluftsförbrukare, ansluter man först alla pneumatiskt drivna verktyg, maskiner och enheter och mäter summan av alla läckage (bild 4). Sedan stänger man avstängningsventilerna framför förbrukarens anslutningar och mäter läckaget i rörledningsnätet (bild 5). Differensen mellan total- och nätläckage ger slutligen förlusterna vid luftförbrukarna, dess armaturer och förband.

4. Var finns de flesta läckage?

Av erfarenhet vet vi att ca 70 % av läckagen uppstår på de sista metrarna, d.v.s. vid tryckluftsnätets tappställen. Läckagen kan lokaliseras exakt med hjälp av såpvatten eller specialsprej. Huvudrörledningen uppvisar vanligtvis endast många och stora läckor när ett från början fuktigt nät med gamla hampatätningar, drivs med torr tryckluft och dessa tätningar efter en viss tid torkar. För exakt lokalisering av läckage i huvudrörledningsnätet rekommenderar vi användning av en ultraljudsapparat. När slutligen läckagen har fastställts, åtgärdats och rörledningsdiametern anpassats till det aktuella tryckluftsbetöget, så har det gamla nätet (på nytt) förvandlats till ett lönsamt tryckluftsdistributionssystem.

Tryckluftsbehovsanalys (ADA): Nulägesbedömning

Moderna tryckluftsstationer är för det mesta komplexa system. De går endast att driva med lönsamhet om man tar tillräcklig hänsyn till detta vid planering, utvidgning och modernisering av dem. KAESER kan erbjuda ett omfattande servicekoncept för detta. Vår service kombinerar beprövade element som tryckluftskomponenter, användarrådgivning och användarstöd med informationsteknikens nya möjligheter inom tryckluftstekniken.

Tryckluftsanvändare är idag allt från biltillverkare till cementfabriker. En viktig förutsättning för effektiv användning av tryckluft inom olika områden är en tillförlitlig produktions- och behandlingsteknik. Den måste kunna leverera tryckluft kostnadseffektivt i exakt definierad mängd och kvalitet.

1. Rådgivning avgör lönsamheten

Ett tryckluftssystem som uppfyller dessa krav måste vara exakt anpassat till användningsområdet liksom uppställnings- och omgivningsvillkoren. Detta innebär att den måste ha korrekt dimensionerade kompressorer, behandlingsenheter och rörledningar, liksom en så effektiv styrning som möjligt, en lämplig ventilationsteknik och kondensatbehandling, samt, om det är möjligt, kunna ta vara på värmeåtervinningen. Allt detta motsvarar KAESERs energisparsystem (KESS). Det omfattar

behovsanalys av tryckluft, planering (**bild 1**), genomförande, utbildning och kundtjänst.

Avgörande är kvaliteten på rådgivningen och valet av rätt teknik: Den största kostnadsbesparingspotentialen finns nämligen i områdena energibehov och underhåll, och inte i anskaffningen.

2. Tryckluftsbehovsanalys

Utgångspunkt för varje KESS-rådgivning är en analys av det aktuella och vid behov även det framtida tryckluftsbehovet. Denna undersökning, som hos KAESER betecknas ADA (analys av tryckluftsbehov), tar hänsyn till olika ramvillkor beroende på behovsläge:

a) Planering av en tryckluftsförsörjning

Vid planering av en ny tryckluftsstation får den blivande operatören ett speciellt frågeformulär (**bild 2**). Detta underlättar för att, i samarbete med en erfaren tryckluftsrådgivare från KAESER, fastställa det förväntade tryckluftsbehovet och den utrustning som krävs för det. Frågorna täcker alla viktiga aspekter för en lönsam, miljövänlig tryckluftsförsörjning.

b) Utbyggnad och modernisering

Till skillnad från nya projekt finns det vid utbyggnader tillräckligt många punkter som vägledning för en behovsanpassad dimensionering. KAESER hjälper användare via mätmetoder och utrustning med vars hjälp det går att exakt bestämma tryckluftsbehovet i olika delar av företaget vid olika tider. Härvid är det viktigt att inte enbart

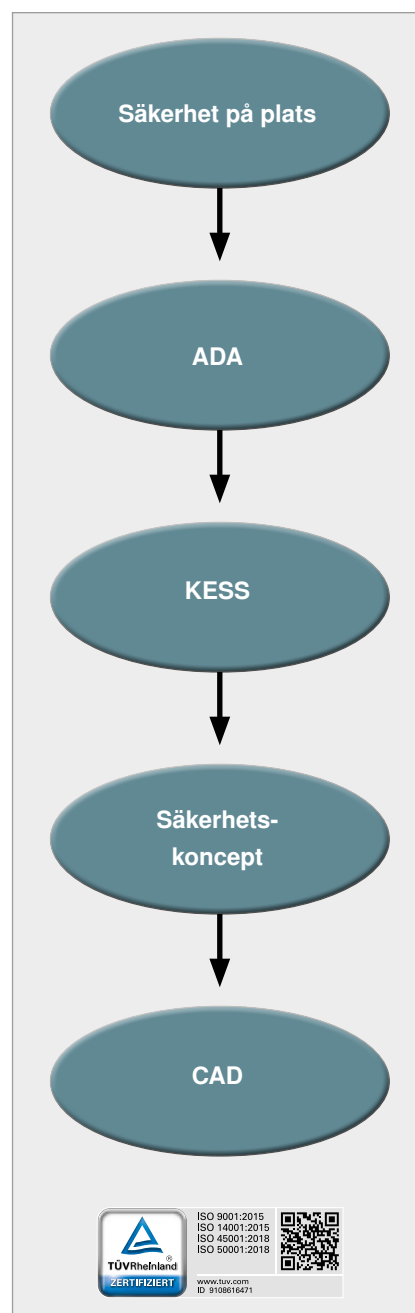


Bild 2: Frågeformulär "Tryckluftsstation" för kartläggning av nya och gamla anläggningar (se också bilaga, sida 56 f.)

Bild 1: System för tryckluftsanalys från KAESER Kompressorer

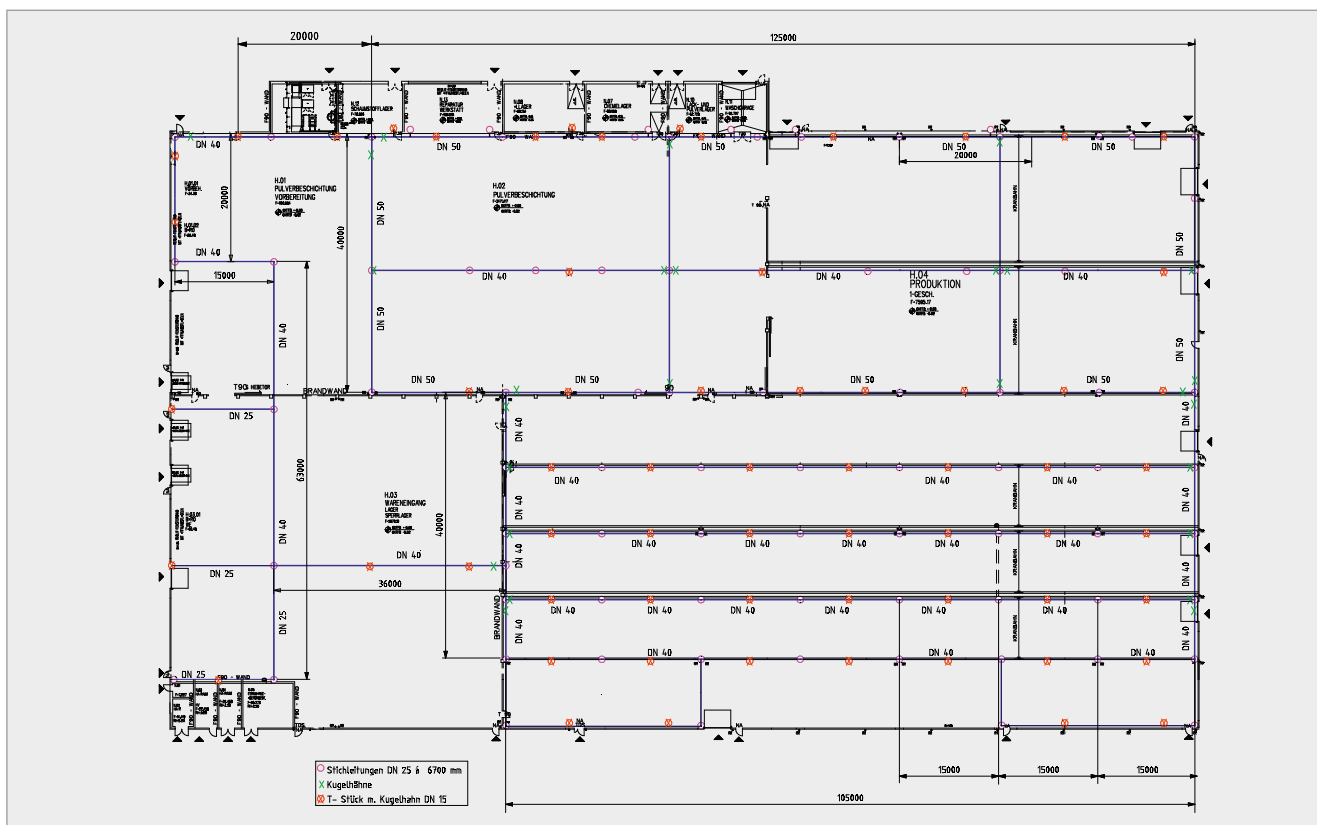


Bild 3: Ett företags planritning med tryckluftsörledningssystem

genomsnittsvärden, utan även maximala och minimala värden fastställs (bild 8, sida 31).

c) Kontroll av effektiviteten på befintliga stationer

Även i befintliga stationer rekommenderar vi att man regelbundet med hjälp av ett datorstött analysystem kontrollerar om kompressorerna (fortfarande) belastas korrekt, om maskinövergripande styrningar eventuellt inte (längre) är korrekt programmerade eller om läckagen fortfarande ligger inom toleransområdet. ADA bör även användas om gamla kompressorer ska bytas ut mot nya. Det ger en chans att byta ut eventuellt felaktiga storlekar till korrekta, att förbättra kompressorernas driftsbeteende (dellastområde!) och att planera in en optimerad maskinövergripande styrning.

d) Förändrade driftförhållanden för tryckluft

Även vid förändrade användningsvillkor bör en fackman rådfrågas. I många fall går det nämligen att med anpassad produktionsteknik eller tryckanpass-

ningar att åstadkomma avsevärda kostnadsbesparingar.

3. Information från användaren

a) Planritning

För en allmän orientering måste en planritning över anläggningen (bild 3) stå till förfogande.

I den ska tryckluftsstationens huvudtryckluftsledning, anslutningsledningar och inmatningspunkter vara angivna. Dessutom måste uppgifter finnas om rörledningsdimensionering och - material, liksom om huvudtrycklufts-förbrukarens platser och tappning av luft med specifikt tryck och angiven kvalitet.

b) Tryckluftens användningsområden

Då tryckluft är ett väldigt mångsidigt medel krävs detaljer om dess användningsområden: Används tryckluften t.ex. som styrluft, vid ytbehandling, för roterande verktyg, för rengöringssyften, som processluft, o.s.v.?

c) Befintliga kompressorer

Förutom kompressorernas typ och modell måste även deras tekniska data

som drifttryck, flöde, effektförbrukning, typ av kylning och eventuell frånluftsanvändning anges.

d) Tryckluftsbehandling

Vid tryckluftsbehandlingen är det viktigt om den behandlas centralt och/eller decentralt och vilka kvalitetsklasser som krävs. Naturligtvis måste även komponenternas tekniska data anges. Ett flödesschema ger översikt (bild 4, sida 30).

e) Anläggningsstyrning/övervakning

En beskrivning av anläggningens styrnings- och övervakningsteknik måste finnas med, eftersom stationens lönsamhet inte bara påverkas av de enskilda kompressorernas egenskaper, utan i hög grad också av deras samspel med varandra.

4. Samtal operatör/tryckluftsspecialist

När all information finns till hands, ska tryckluftsspecialisten i ett första samtal sättas in i de samlade dokumenten, och en genomgång ske av vilka problem

Tryckluftsbehovsanalys (ADA): Nulägesbedömning

som finns med tryckluftsförsörjningen. Till det räknas t.ex. en för låg eller varierande trycknivå, bristfällig luftkvalitet, dålig belastning av kompressorerna eller problem med kylningen.

5. Besiktning av tryckluftssystemet

Mest information får man som regel av att besiktiga anläggningen.

Det är rekommendabelt att börja med de kritiska zonerna, d.v.s. där exempelvis tryckfallet är särskilt kraftigt eller luftkvaliteten är dålig (**bild 5**). Erfarenheten visar att det oftast handlar om slutändarna i tryckluftsnätet.

a) Anslutningsslangar, tryckreducering, vattenavskiljare

Speciellt slanganslutningarna till luftförbrukarna brukar vara drabbade av läckage. De ska därför kontrolleras med avseende på skador och otäthet. Om tryckregulatorer är monterade, måste även deras inställning (för- och eftertryck) kontrolleras under lastförhållanden (**bild 6**). Även vattenavskiljare som är installerade framför tryckregulatorer ska kontrolleras med

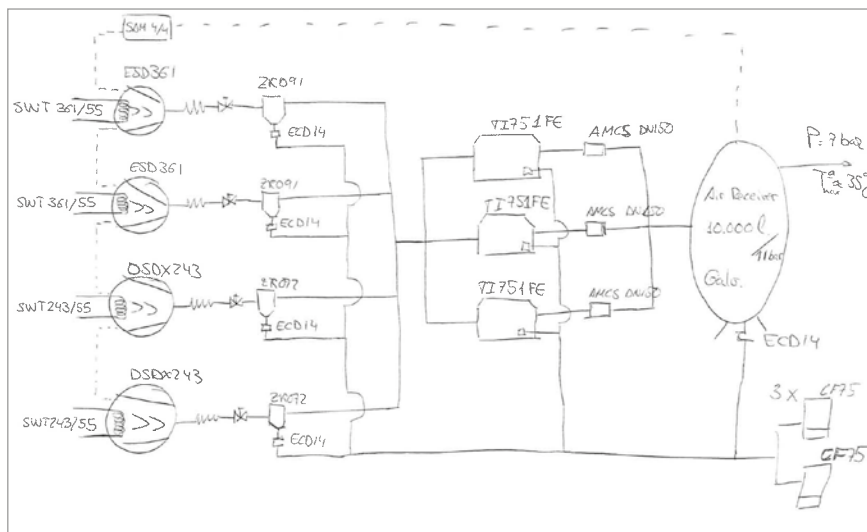


Bild 4: För hand ritat flödesschema för en tryckluftsstation

avseende på befintliga vätskor och föroreningar.

Detsamma gäller för utgångsledningar som är dragna lodrätt nedåt (**bild 7**).

b) Avstängningar

Stor inverkan på systemets effektivitet har tillståndet på anslutningsledning-

arna som kommer från huvudnätet. Till deras kritiska punkter hör avstängningsanordningarna. Man ska kontrollera om det t.ex. handlar om flödesgynnsamma kulventiler med full genomströmning resp. spärrspjäll eller om flödesogynnsamma vridspjällventiler resp. hörnventiler.

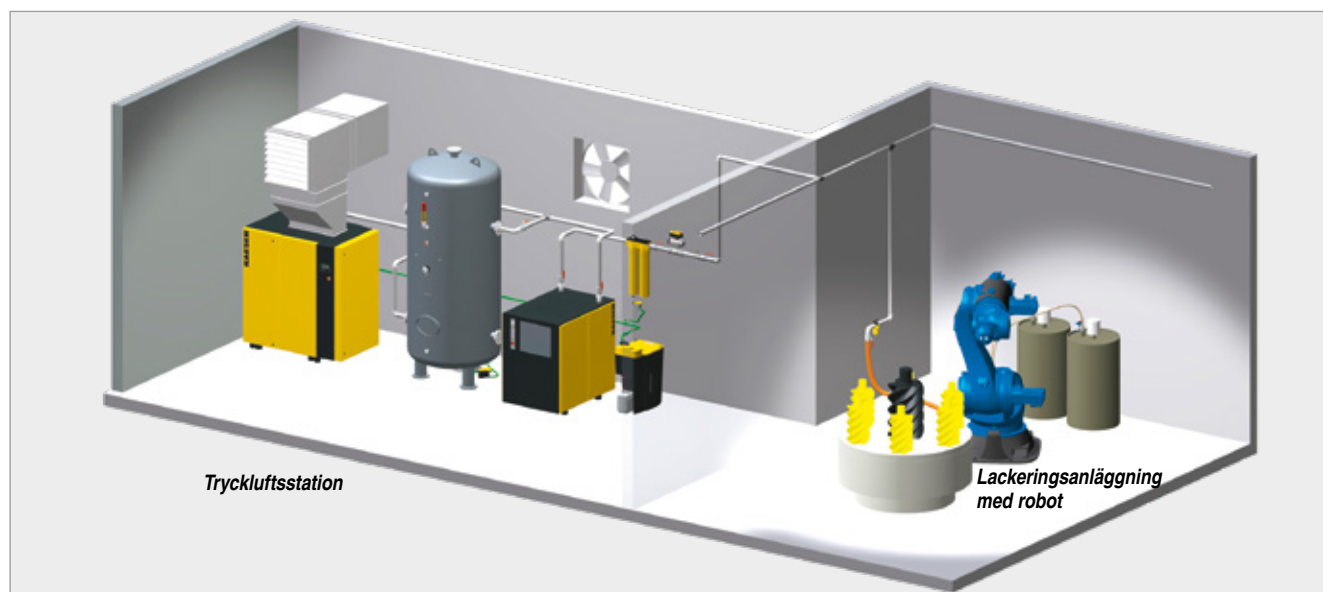


Bild 5: Informativ: Besiktning av tryckluftssystemet



Bild 6: Underhållsenhet med tryckregulator

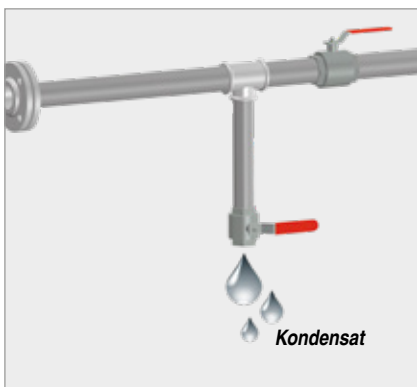


Bild 7: Kontrollera tryckluftsutgångsledning med avseende på fuktighet

c) Huvudrörledningsnät

På huvudrörledningsnätet gäller det framför allt att lokalisera strypningar där tryckfall kan uppstå.

d) Tryckluftsbearbetningssystem

Här är de viktigaste kontrollkriterierna för den uppnådda tryckdagpunkten (torrhetsgraden) och det respektive orsakade differensstrycket. Beroende på användningar kan även andra kvalitetskontroller vara nödvändiga.

e) Tryckluftsstation

Även tryckluftsstationen själv kan uppvisa avsevärda brister. Maskinens uppställning, fläktsystemet, kylningen och rördragningen ska kontrolleras. Dessutom ska kompressorernas totala kopplingstryckdifferens, tryckluftackumulatorns storlek och mätpunkten fastställas, från vilken kompressorerna styrs.

f) Fastställande av mätpunkten

Efter inspektionen lägger tryckluftsspecialisten tillsammans med operatören

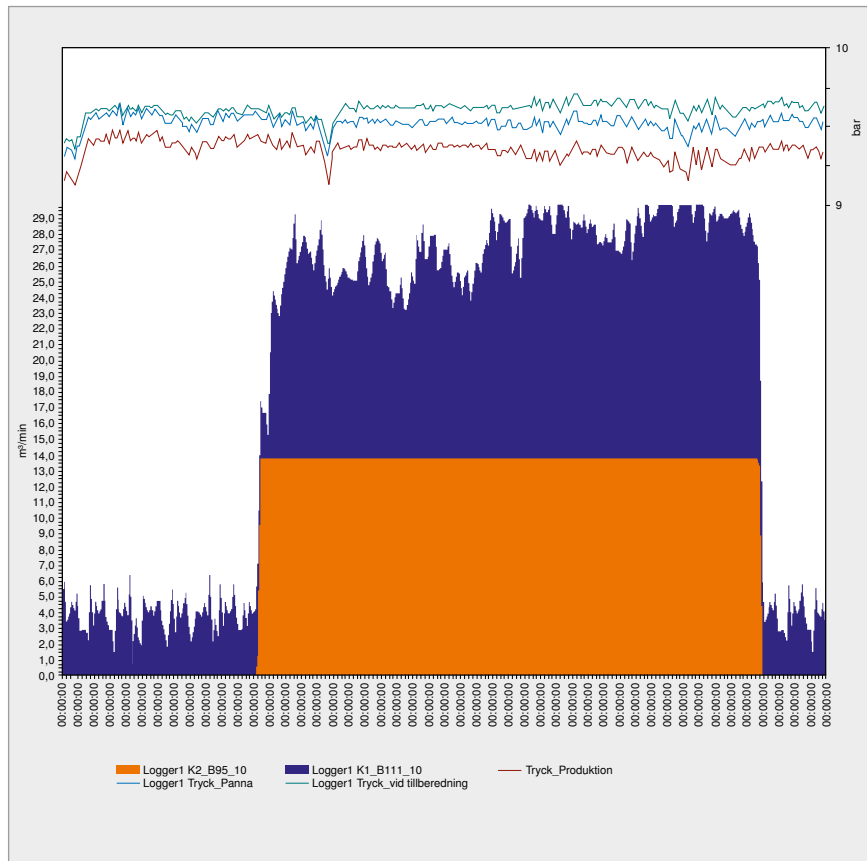


Bild 8: Uppmått tryck- och tryckluftsförbrukningsstruktur i en industrianläggning

fast mätpunkterna för förbrukningsanalysen. Minimikravet är en tryckmätning före och efter behandlingen samt vid tryckluftsnätets utgång.

6. Tryck- och luftförbrukningsmätning (ADA)

Vid mätningen av tryck och luftförbrukning analyseras driften av tryckluftsstationen och hela systemet under minst 10 dagar med hjälp av modern dataloggteknik. Dataloggern registrerar alla relevanta mätvärden och överför dem till en dator som upprättar ett detaljerat förbrukningsdiagram (bild 8). Här kan tryckfall, tryck- och förbrukningsvariationer, avlast, last- och tomgångstider för kompressorerna kännas igen, samt även fördelningen av effekt för varje enskild kompressor till motsvarande tryckluftsförbrukning. För att göra bilden komplett, måste även läckaget fastställas under mätningen. Detta görs enligt framställningen i kapitel 10, s. 26/27 och kräver bland annat avstängning av bestämda nätområden under ett veckoslut.

Beräkning av det mest lönsamma konceptet

Genom konsekvent optimering av tryckluftssystem kan man spara mer än 30 % av de genomsnittliga tryckluftskostnaderna hos europeiska industriföretag. Huvuddelen av kostnaderna orsakas av energibehovet med ca 70 till 90 %. Med bakgrund av prisutvecklingen blir det allt viktigare för användaren att få fram det mest effektiva tryckluftskonceptet.

Genom optimeringsberäkningen hos KAESERs energisparsystem (KESS) går det att snabbt utifrån olika tryckluftsförsörjningsvarianter fastställa den mest lämpliga varianten för olika användarföretag. Grund för beräkningen vid planeringar är det ifyllda frågeformuläret. För befintliga kompressorinstalleringar använder man istället ett genom analysen av tryckluftsbekovet (ADA) registrerat karaktäristiskt förlopp för en arbetsdag som beräkningsgrund (se s. 31, bild 8).

1. Datorstödd beräkning

För optimering av stationen matas tekniska data för de använda kompressorerna och eventuella nya varianter in i programmet. KESS beräknar sedan den optimala varianten och möjligheterna till kostnadsänkningar. Härvid beräknas inte enbart den punktuella energiförbrukningen vid ett bestämt tryckluftsbekov inklusive alla förluster. Det går även att skapa en exakt bild av det specifika effektförhållandet för kompressorinstalleringen under hela drifttiden (bild 1). På det sättet kan eventuella brister i dellastområdet redan från början upptäckas och åtgärdas. Som slutgiltigt resultat får man en klar indikation på de möjliga kostnadsbesparingarna och lönsamheten.

2. En givande blandning

För det mesta visar sig en exakt avstämd konfiguration av kompressorerna med olika kapacitet vara den rätta lösningen. Den består för det mesta av stora baslast- och standby-maskiner som kombineras med mindre topplastmaskiner.

Den maskinövergripande styrningens uppgift är att sörja för ett så utjämnt specifikt effektbehov som möjligt. För detta måste den automatiskt kunna välja

den mest gynnsamma kombinationen av grund- och topplastkompressorerna – energimässigt optimerad för upp till 16 kompressorerna inom minsta möjliga tryckvariationsområde ovanför tryckbehovet utan att sjunka under det. Dessa krav uppfyller intelligentastyrningssystem som SIGMA AIR MANAGER 4.0. Denna styrning kan utbyta data med kompressorerna och andra komponenter som t.ex. torkar, kondensatavledare etc. via ett KAESER-specifikt nätverk. Dessutom går det att ansluta den till ett centralt styrsystem och vidarebefordra alla driftdata dit.

3. Byggnadsteknisk optimering

Vid planering eller modernisering av en kompressorinstallering bör de rumsliga förutsättningarna utnyttjas optimalt. Moderna planeringssystem, som KAESER använder, ger här ett värdefullt stöd. De tar inte enbart hänsyn till byggnadsritningar och R+I-schemata (flödesdiagram), utan även till datorgenererade 3D-ritningar, i planeringsprocessen. Till exempel är det ofta möjligt att använda ekonomisk luftkylning trots trånga utrymmen. Därmed går det att spara kostnader med 30 till 40 % i jämförelse med vattenkylning. (Bild 2a till c).

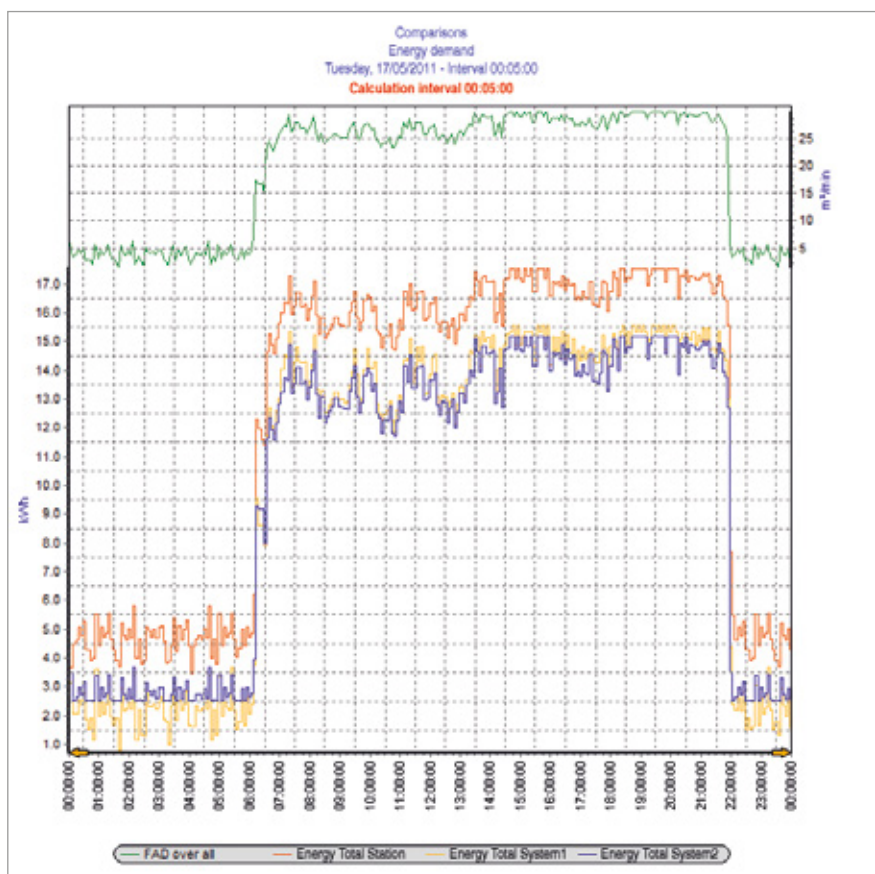


Bild 1: Jämförelse av energiförbrukningen för en existerande tryckluftsstation med den för en ny anläggningsvariant, under en drifts dag beroende på tryckluftsbekov.

4. Driftoptimering, styrning och tryckluftshantering

För att säkra tryckluftsförsörjningens lönsamhet på lång sikt är det inte enbart nödvändigt med ett optimalt förhållande mellan kostnad och nyttjande, utan även att anläggningen är transparent på det som krävs för en effektiv styrning. Grunden för detta är kompressorstyrningen SIGMA CONTROL, en industridator med fem programmerade styrningstyper och möjlighet att registrera data och vidarebefordra till ett datanät. På den överordnade styrningens nivå motsvarar det ytterligare en industridator, den tidigare redan nämnda SIGMA AIR MANAGER 4.0 (i schemat på sidan 18/19). Förutom en optimerad styrning och övervakning av stationen är dess uppgift att registrera alla relevanta data och vid behov överföra dem till ett centralt styrsystem. SIGMA AIR MANAGER 4.0 ger med visualisering via internetteknik en överblick över stationens alla komponenter och deras viktigaste driftdata. På det sättet går det snabbt att fastställa om stationen fungerar korrekt, om underhålls- eller störningsinformation visas och hur högt drifttrycket är.

För att minska miljöbelastning och kostnader för företag fastställs i DIN EN ISO 50001 hur företag systematiskt och kontinuerligt ska förbättra sin energieffektivitet. Tryckluftshanteringssystem som SIGMA AIR MANAGER 4.0 hjälper dig skapa certifieringsrapporten – effektivt och tidsbesparande. De ger en säker lagring av driftdata från tryckluftsanläggningen och tillhandahåller utöver nyckeltal detaljerade analyser och utvärderingar av energianvändningen.

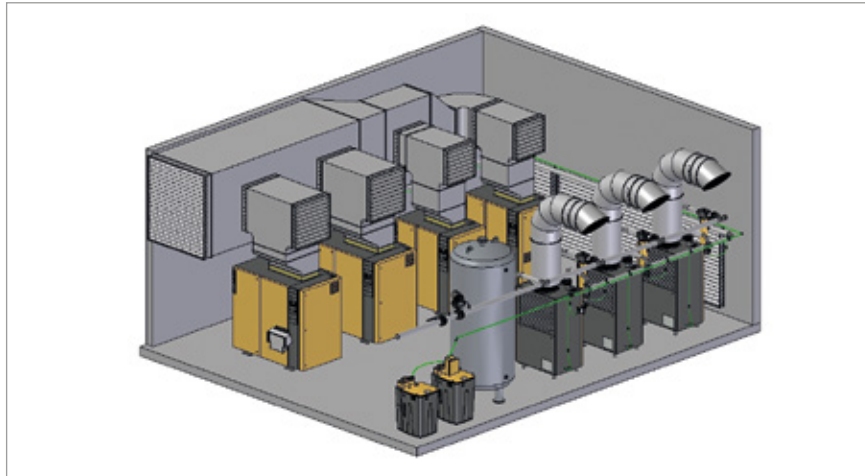


Bild 2a: CAD-optimerad 3-D-planering av en tryckluftsstation

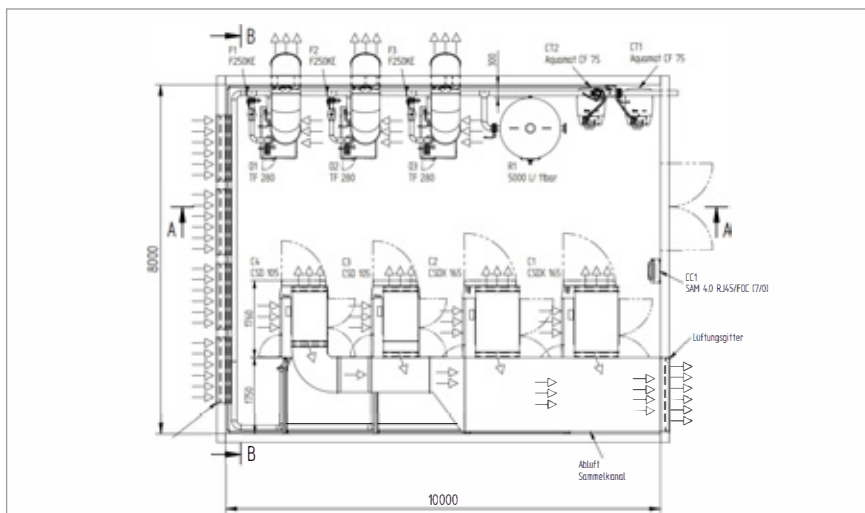


Bild 2b: Planritning över en tryckluftsstation

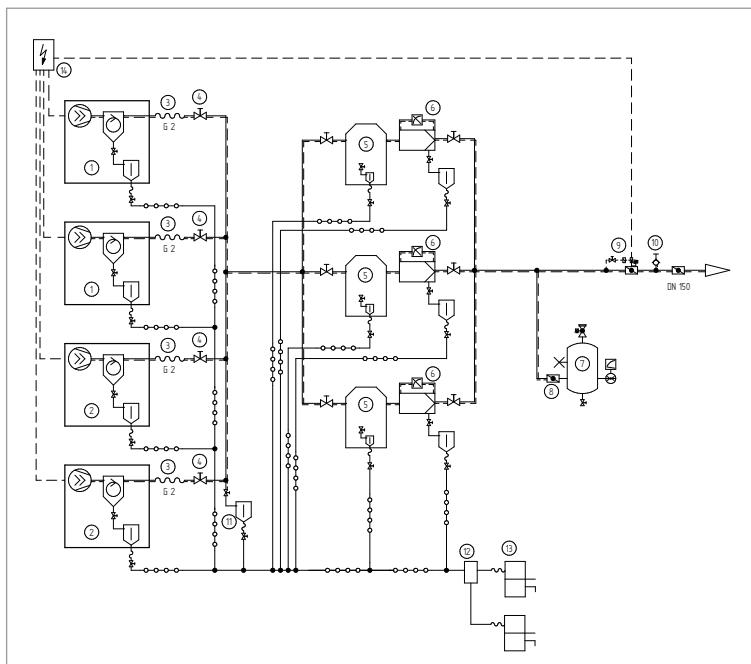


Bild 2c: R+I-schema för en tryckluftsstation

Effektiv kylning av tryckluftsstationen

Kompressorer omvandlar 100 % av den elektriska energi som tillförs till värme. Redan en relativt liten 7,5-kW-kompressor levererar som biprodukt så mycket värme att det skulle räcka till att värma upp ett enfamiljhus. Effektiv kylning är därför en nödvändig förutsättning för störningsfri drift av en tryckluftsstation.

Den spillvärme som genereras av kompressorer är mycket lämplig för energibesparingar. Med hjälp av värmeåtervinningssystem kan upp till 96 % av den använda energin återvinnas, användas och kostnaderna för tryckluftsproduktionen sänkas betydligt (se kapitel 8, s. 22). Trots detta måste även tryckluftsanläggningar med värmeåtervinning ha ett helt kylsystem, med vars hjälp det också går att spara mycket pengar. Så kan kostnaderna för luftkylning vara upp till 30 % lägre än dem för vattenkylning. Luftkylning bör därför föredras där det är möjligt.

1. Kompressornas omgivning

1.1 Rent och svalt är viktigt

I den yrkesförsäkringsrelaterade föreskriften gällande användning av arbetsmateriel (DGUV-regel 100-500/BGR 500, avsnitt 3) står följande: "Omgivningstemperaturen bör i allmänhet inte överstiga 40 °C för stationära luftkompressorer med oljesmorda tryckkammare och luftkylning." Dessutom finns det en anmärkning om att "när det gäller luftkompressorer är inloppsöppningarna anordnade på ett sådant sätt att farliga blandningar inte kan dras in". Det är minimikrav som syftar till att hålla risken för olyckor så låg som möjligt. För en lönsam drift av kompressorer med lågt underhåll krävs dock även en del annat.

1.2 Kompressorutrymmet är inget förvaringsutrymme

Kompressorrummet ska hållas fritt från andra maskiner, damm och andra föroreningar.

Golvet bör vara av ett nötningsbeständigt material. Under inga omständigheter får kylluft – detta gäller även luft som ska komprimeras – sugas in från omgivningar som är belastade med damm-, sotpartiklar eller liknande utan föregående intensiv filtrering. Även

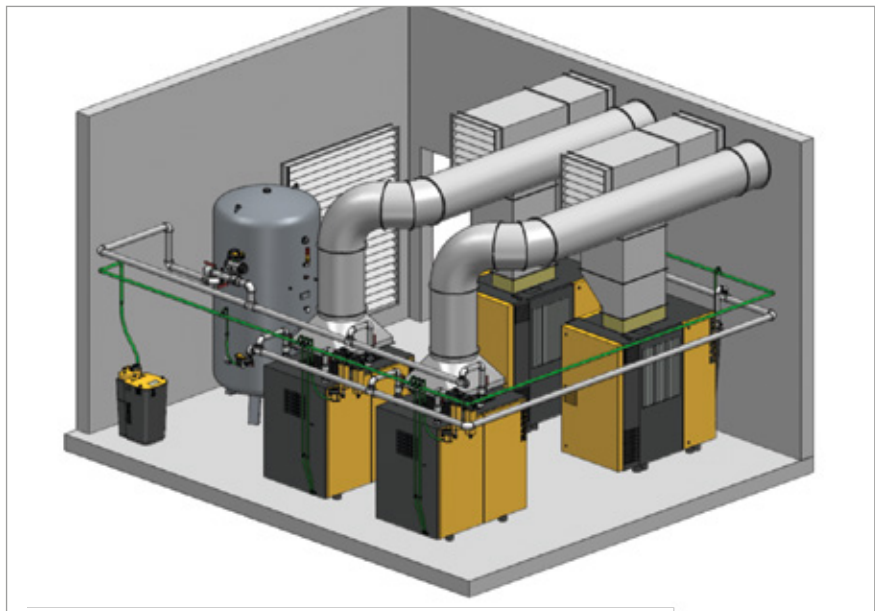


Bild 1: Exempel med en tryckluftsstation med frånluftssystem och termostatiskt styrd extraventilation för kyltorken

vid normala driftsförhållanden ska kompressorernas insugnings- och kylluft rengöras med filter.

1.3 Rätt omgivningstemperatur

Även temperaturförhållandena har en stor påverkan på kompressorernas tillförlitlighet och underhållsbehov: Insug- och kylluft får varken vara för kall (<+3 °C) eller för varm (>+40 °C). På sommaren kan luftuppvärmningen vara kraftig p.g.a. solen på syd- och eventuellt även på västsidan av byggnader, med temperaturer på över 40 °C även i milda klimatzoner. Därför är det rekommendabelt att inte placera öppningarna för insugnings- och kylluft där de utsätts för starkt solljus. Öppningarnas storlek bestäms av kompressorernas effekt och ventilationssättet.

2. Ventilation av kompressorrummet

Inte bara luft-, utan även vattenkylda kompressorer kräver en god venti-

lation av kompressorrummet. Under alla omständigheter måste strålningsvärmen inom kompressorsystemet och spillvärmen från den elektriska drivmotorn ledas bort – tillsammans ungefär 7 % av kompressornas driveffekt.

3. Olika typer av ventilation

3.1 Naturlig ventilation

Kylluften sugas in av kompressorn och värms upp, stiger uppåt och leds slutligen ut ur rummet på grund av det rådande övertrycket, via en upp- till placerad frånluftöppning (bild 2). Så enkelt går det emellertid enbart i undantagsfall och för kompressoreffekter upp till 5,5 kW. Solljus eller vind som trycker på frånluftöppningen kan stoppa denna naturliga ventilation.

3.2 Forcerad ventilation

Denna ofta använda metod använder en riktad kylluftström. En termostatregering förhindrar temperaturer under +3 °C under de kalla årstiderna. För

låga temperaturer skulle påverka funktionen hos kompressorer, liksom hos kondensatdränning och behandling. Styrningen via termostat är nödvändig eftersom kompressorummet vid forcerad ventilation står under ett visst undertryck, som förhindrar att uppvärmd luft strömmar tillbaka in i rummet. Det finns två möjligheter:

3.2.1 Ventilation med extern fläkt

En extern fläkt med termostatstyrning (**bild 3**) i kompressorummets frånluft-söppning suger ut uppvärmd luft. Därvid är det viktigt att insugningsöppningen (nertill till höger) inte är för liten dimensionerad, annars skulle ett för stort undertryck i kombination med starkt, högljutt luftflöde uppstå. Dessutom skulle kylningen skada stationen. Ventilationen måste dimensioneras så att temperaturhöjningen p.g.a. spillvärmen från kompressorn inte överstiger 10 K eller inte överstiger den högsta tillåtna omgivningstemperaturen. Annars kan en värmekortslutning uppstå och kompressorerne sluta fungera.

3.2.2 Ventilation med frånluftskanal

Fullt Ljuddämpade skruvkompressorer möjliggör en nästan ideal ventilation med hjälp av en frånluftskanal: Kompressorn suger in tilluften via en öppning och blåser ut den uppvärmda frånluften i kanalen, som leder den rakt ut ur kompressorummet (**bild 4**). Fördelen med den här metoden är att kylluftströmmen kan värmas upp mer, med en temperaturökning på ca 20 K. Detta minskar mängden kylluft som krävs. Normalt sett räcker standardfläktarna i kompressorerna för transporten av frånluften. I motsats till ventilation med en extern fläkt uppstår inte något extra energibehov. Detta gäller endast när fläktarnas resttryck inte överskrider. Dessutom måste frånluftskanalen ha ett termostatstyrt cirkulationsspjäll (**bild 5**) för att undvika nedkylning av kompressorummet på vintern. Om det även finns luftkylda torkar där, måste hänsyn tas också till följande: Kompressor och tork får inte påverka varandra ventilationstekniskt. Vid temperaturer på över + 25 °C rekommenderas det dessutom att kylluftsflödet höjs med hjälp av en extra extern fläkt eller genom ett termostatstyrt frånluftssystem för kyllorken (**bild 1**).

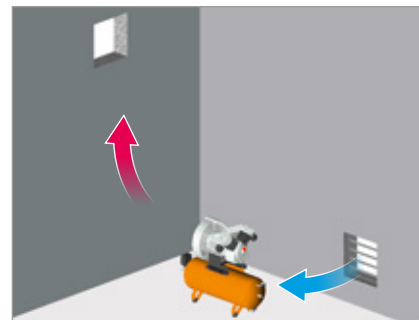


Bild 2: Naturlig ventilation för anläggningar upp till 5,5 kW

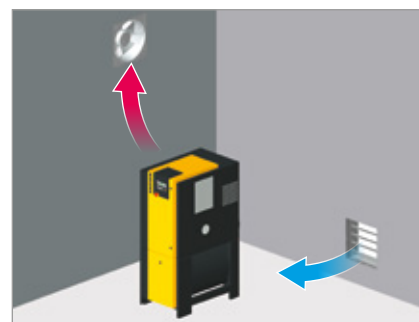


Bild 3: Forcerad ventilation med fläkt för anläggningar mellan 5,5 och 11 kW

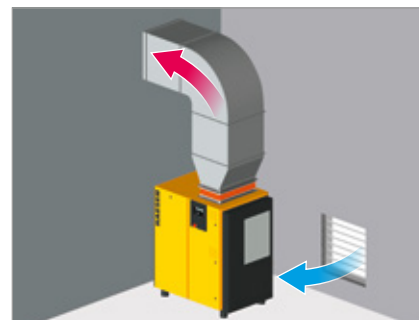


Bild 4: Forcerad ventilation med frånluftskanal – för anläggningar över 11 kW

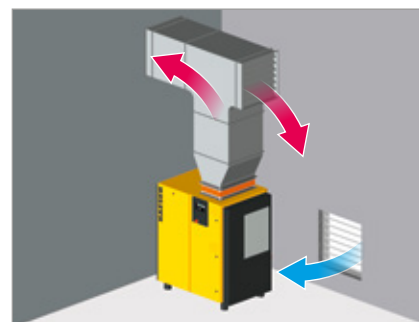


Bild 5: Ett termostatreglerat cirkulationsspjäll ser till att temperaturen utjämnas

Långsiktig tillförlitlighet och kostnadsoptimering

På sidorna 24 till 27 finns information om vad som bör beaktas vid installation av nya och sanering av befintliga tryckluftsnät samt hur planeringen av en effektiv kompressorstation bör se ut. Energi- och kostnadseffektiv planering samt genomförande är dock enbart på sin höjd halva hyran. Den som vill säkra lönsamheten i tryckluftsförsörjningen långsiktigt, måste framför allt se till att tryckluftssystemet drivs effektivt.

Högsta möjliga tryckluftseffektivitet lönar sig för användarna i tre avseenden: försörjningssäkerheten är högre, tryckluftskostnaderna och energiförbrukningen betydligt lägre. Effektivitetspotentialen är hög: enligt en uppskattning förbrukade år 2020 de europeiska tryckluftskompressorerna 133 miljarder kWh; minst 30 % skulle kunna sparas in (**bild 1**).

1. Vad innebär optimal lönsamhet?

Ett tryckluftssystemets lönsamhet avspeglas i dess kostnadsstruktur. Den optimala situationen varierar beroende på drift och produktion. Avgörande är kompressorernas löptider, trycknivån och ytterligare kommersiella parametrar. Här som exempel ett optimerat system med luftkyld tryckluftsstation: löptid 5 år, elpris 15 cent/kWh, ränta 6 %, 7 bar arbetstryck, tryckluftskvalitet

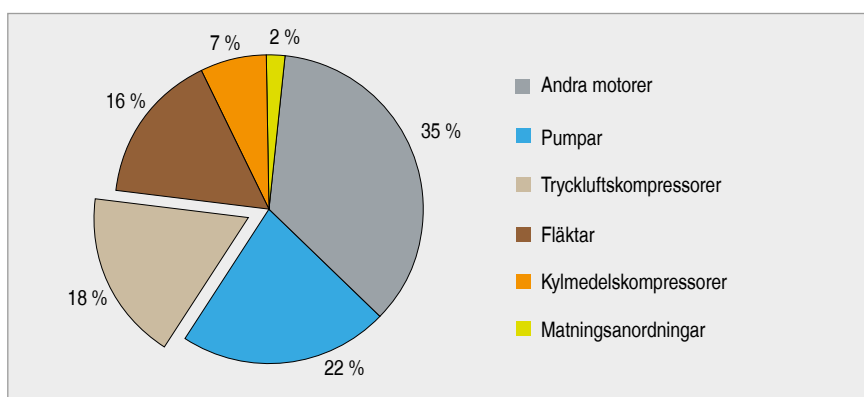


Bild 1: Uppskattning av luftkompressorernas andel av energiförbrukningen i industriella drivenheter

enligt ISO 8573-1: restdamm klass 1, restvatten klass 4, restoljehalt klass 1. Exemplet visar: även under optimala förutsättningar utgör energiförbrukningen med runt 70 % merparten av den totala tryckluftskostnaden (**bild 2**). Fynden i tryckluftstationer installe-

rade i Tyskland fastslogs i en studie av högskolan i Coburg inom ramen för initiativet "Druckluft effizient" (**bild 3**).

2. Att bibehålla lönsamheten

Den som är intresserad av en långsiktigt lönsam tryckluftsförsörjning, måste tänka på några viktiga punkter:

2.1 Behovsorienterat underhåll

Modern integrerad kompressorstyrning som "SIGMA CONTROL 2" och managementsystem för tryckluft som "SIGMA AIR MANAGER 4.0" på en industriadator informerar exakt om underhållsintervallen för komponenterna i en tryckluftsstation. Därmed är det möjligt att utföra underhållsarbeten utifrån behov och förebyggande. Resultat: lägre underhållskostnader, bättre lönsamhet och tillförlitlig tryckluftsförsörjning, och därigenom högre säkerhet för företagets produktion.

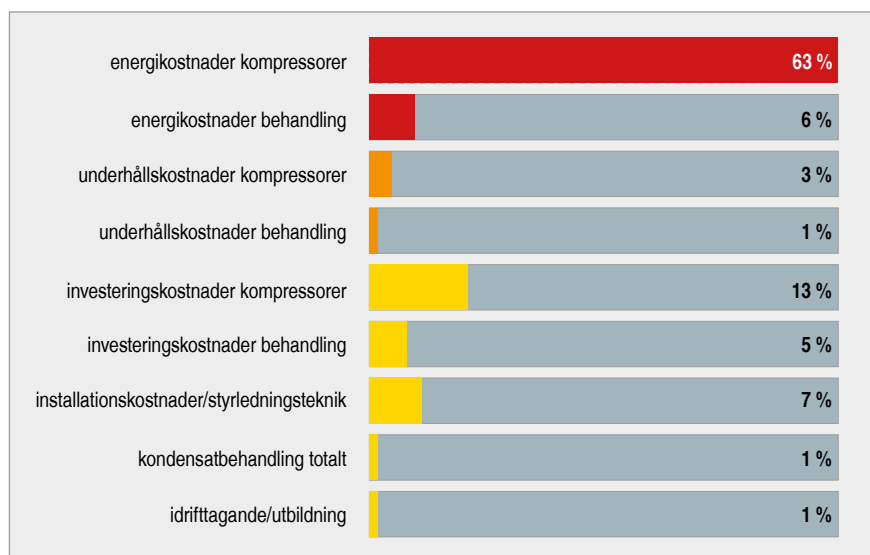


Bild 2: Kostnadsstruktur för ett optimerat tryckluftssystem

2.2. Matchande tryckluftförbrukare

Inte bara på produktionssidan, utan även på förbrukarsidan finns risken att man sparar på fel ställe: till exempel genom att produktionsmaskiner köps in som visserligen har lågt anskaffningspris, men som kräver ett högre drifttryck. Den därigenom erforderliga tryckhöjningen och/eller utbyggnaden av tryckluftssystemet kommer snabbt att överskrida merkostnaderna för inköp av en maskin som klarar sig med ett lägre drifttryck på t.ex. 6 bar. Därför bör man dra upp riktlinjer för inköp av produktionsmaskiner, som inte enbart tar hänsyn till spänningsförsörjningen utan även till tryckluftsförsörjningen.

2.3 Förändrade produktionsberoende krav

2.3.1 Tryckluftsförbrukning

a) Förändringar i produktionen

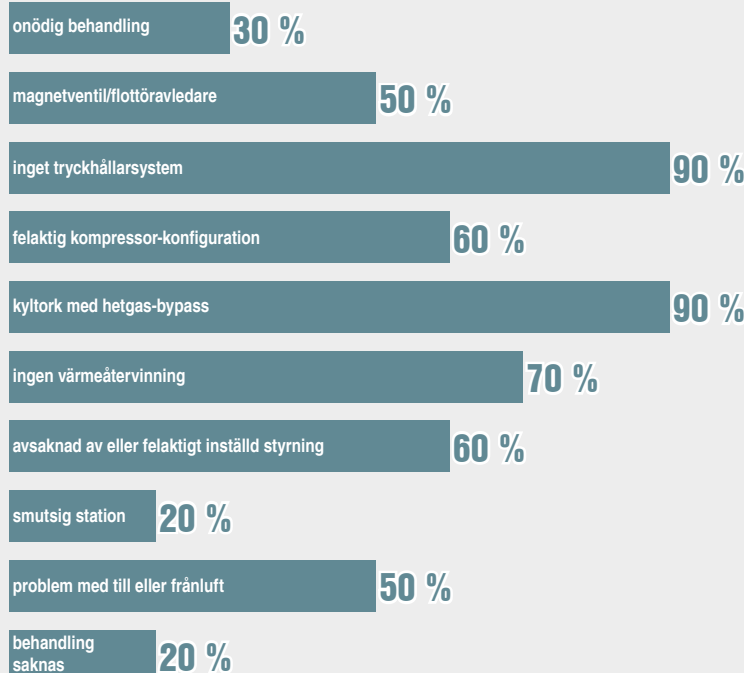
På många håll är det vanligt med förbrukningsvariationer. Ofta ignoreras detta, och det kan förekomma att kompressorerna efter en förändring i produktionen plötsligt i ett skift går extremt underbelastade, för att i nästa skift ha ett så stort luftbehov att säkerhetsreserverna töms. Tryckluftsförsörjningen måste därför alltid anpassas till förändrade produktionsstrukturer.

b) Ökad produktion

I det här fallet måste inte enbart kompressorernas kapacitet, utan även rörledningar och tryckluftsbehandling anpassas till de förändrade förutsättningarna. När produktionskapaciteten ska ökas genom en ytterligare utbyggnad av en befintlig anläggning, är det rekommendabelt att mättekniskt bestämma den befintliga anläggningens tryckluftsförbrukning, för att få så detaljerad information som möjligt och därigenom kunna anpassa försörjningen på motsvarande sätt.

Avvikelser i tryckluftsstationer och produktionsrum

Tryckluftsstation



Produktion

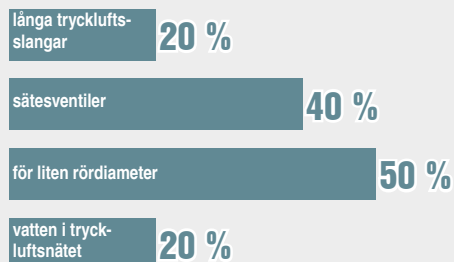


Bild 3: Sammanställning av resultaten av de luftrevisioner som KAESER KOMPRESSOREN genomförde som en del av en studie som utfördes av högskolan i Coburg inom ramen för kampanjen "Druckluft effizient"

Långsiktig tillförlitlighet och kostnadsoptimering

2.3.2 Produktionssäkerhet

I tryckluftsstationer finns det vanligtvis en standbykompressor. I tryckluftsbehandlingen tas sådana säkerhetsreserver däremot ofta inte upp. Om luftförbrukningen stiger startar visserligen standby-kompressorn, men på grund av för låg behandlingskapacitet sjunker emellertid tryckluftskvaliteten. Därför ska för varje standby-kompressor även en behandlingsenhet (tork/filter) planeras.



Bild 4: Lokalisering av läckage med ultraljud

2.3.3 Förändring av luftkvaliteten

Krävs en högre luftkvalitet, bör man skilja på om det gäller hela produktionen eller endast ett delområde. I det första fallet räcker det med en upprustning av den centrala tryckluftsbehandlingen. Även rörledningar, som tidigare har transporterat luft av lägre kvalitet måste rengöras eller bytas ut. I det andra fallet rekommenderas en separat behandling, som levererar den tryckluftskvalitet som krävs. För att säkra denna måste en flödesbegränsning installeras.

I annat fall kan behandlingen "pressas bort" av en för stor tryckluftsmängd, eftersom den naturligtvis inte är utformad för maximalt möjlig kompressorkapacitet.

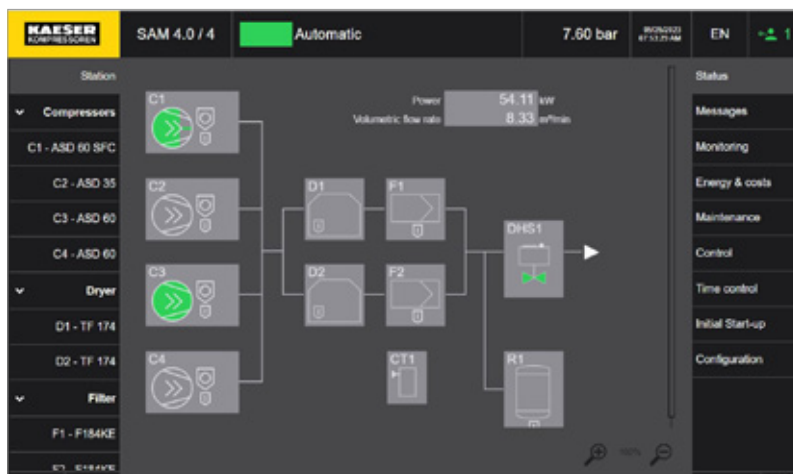


Bild 5a: Ledningssystem: Översikt av station och status

2.4 Övervakning av läckage

Även i de bäst underhållna tryckluftsnäten finns det läckor. De kan i vissa fall leda till betydande energiförluster. Huvudorsaken är slitaget på verktyg, slanganslutningar och maskinkomponenter. Det är därför viktigt att kontrollera sådana brister och åtgärda dem vid behov. Dessutom är det bra att med hjälp av t.ex. SIGMA AIR MANAGER 4.0 regelbundet fastställa hela anläggningens läckage. Om det visar att det

finns en ökning av läckagen, måste läckagepunkterna hittas och åtgärdas (bild 4).

3. Kostnadshantering garanterar lönsamhet

De data som fås av analysen under planeringen är – uppdaterade – även intressanta för den senare driften. För insamlingen av dem behövs emellertid inga speciella analyser längre. System som SIGMA AIR MANAGER 4.0 tar



Bild 5b: Volymflöde och tryckförlopp med tryckkvalitetsövervakning



Bild 5c: Övervakning: Specifik effekt



Bild 5d: Periodisk jämförelse av energi och kostnader



Bild 5e: Underhåll – översikt

hand om den uppgiften. Det skapar en grund för tryckluftskontroller online och effektivt kostnadsmanagement för tryckluftsförsörjningen (bild 5a till e). Ju fler av de användare som introducerar transparens i sina tryckluftssystem, som letar efter besparingspotentialer och som vid anskaffning ställer tryckluftskomponenternas energieffektivitet i förgrunden, desto närmare kommer alla inblandade målet att spara in 30 % och mer av energikostnaderna – till förmån för företagsintäkterna och miljön.

Användningstips

Tips 1 - 7

40-51

Tips 1

Besparing genom optimalt tryck

Ett tryckluftssystemets lönsamhet är inte minst beroende av rätt arbetstryck. Redan små åtgärder får ofta stora konsekvenser.

Ofta ser anslutningen av tryckluft-verktygen ut så här: Vid vilande arbete ligger 6,1 bar på underhållsenheten och 6,0 bar på verktyget. Detta tryck är dock inte direkt samma som trycket vid luftförbrukning.

Tryckfall på verktyget – vad ska man göra?

Ofta visar tryckmätningen vid arbetande verktyg på ett betydande tryckfall. I föreliggande exempel uppgår det till 2 bar; det betyder att verktyget bara får ut 54 % av sin potentiella effekt.

Orsaken går ofta lätt att åtgärda:

a) För litet anslutningstvårsnitt:

Använd en snabbkoppling med större passage.

b) Felaktigt inställd tryckregulator:

öppna mer.

c) **För lågt systemtryck:** Öka trycket i huvudnät eller rörledning genom att bygga in ett större tvärsnitt.

d) **För liten spiralslang:** använd en större spiralslang eller – ännu hellre – en slät slang.

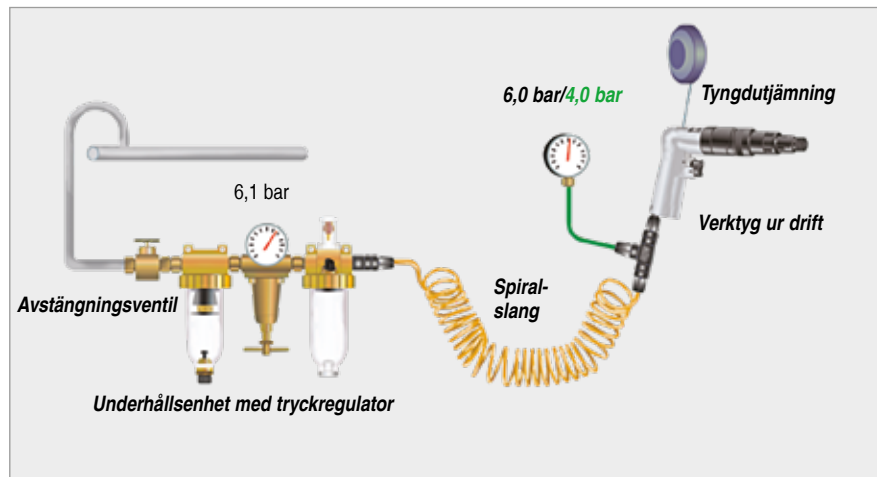
e) Tryckfall i decentral vattenavskiljare:

Torka tryckluften centralt (avskiljare överflödig).

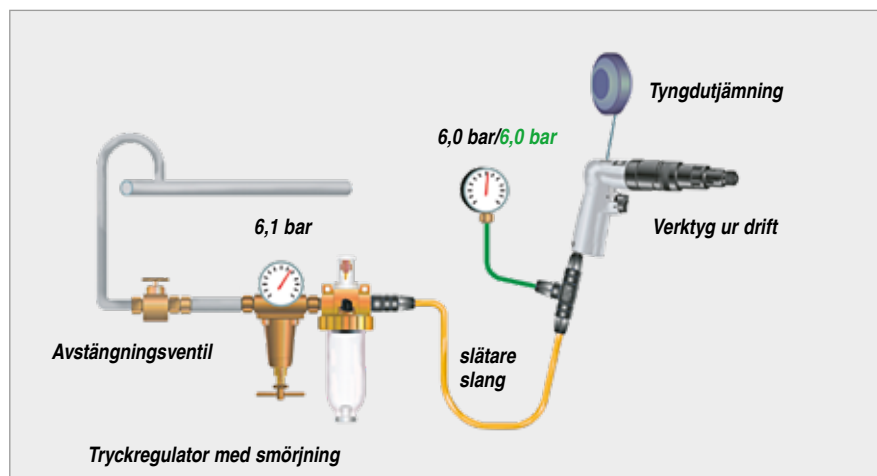
Med dessa åtgärder går det att uppnå det optimala trycket på verktyget (här 6 bar). Det kommer då att leverera 100 % effekt.

Spara energi – med rätt knep

Tryckregulatorer påverkar effektiviteten i tryckluftsanvändningen mer än man tidigare ofta trott. I föreliggande exempel drivs ett tryckluftssystem med 8 till 10 bar. De på uttagsställena anliggande 7,5 till 9,5 bar reduceras med tryckregulatorer till 6 bar. För att spara på energi reduceras systemtrycket till mellan 6,8 och 7 bar. På det sättet ligger 6,1 bar på nätuttagsställena, men bara 4 bar på

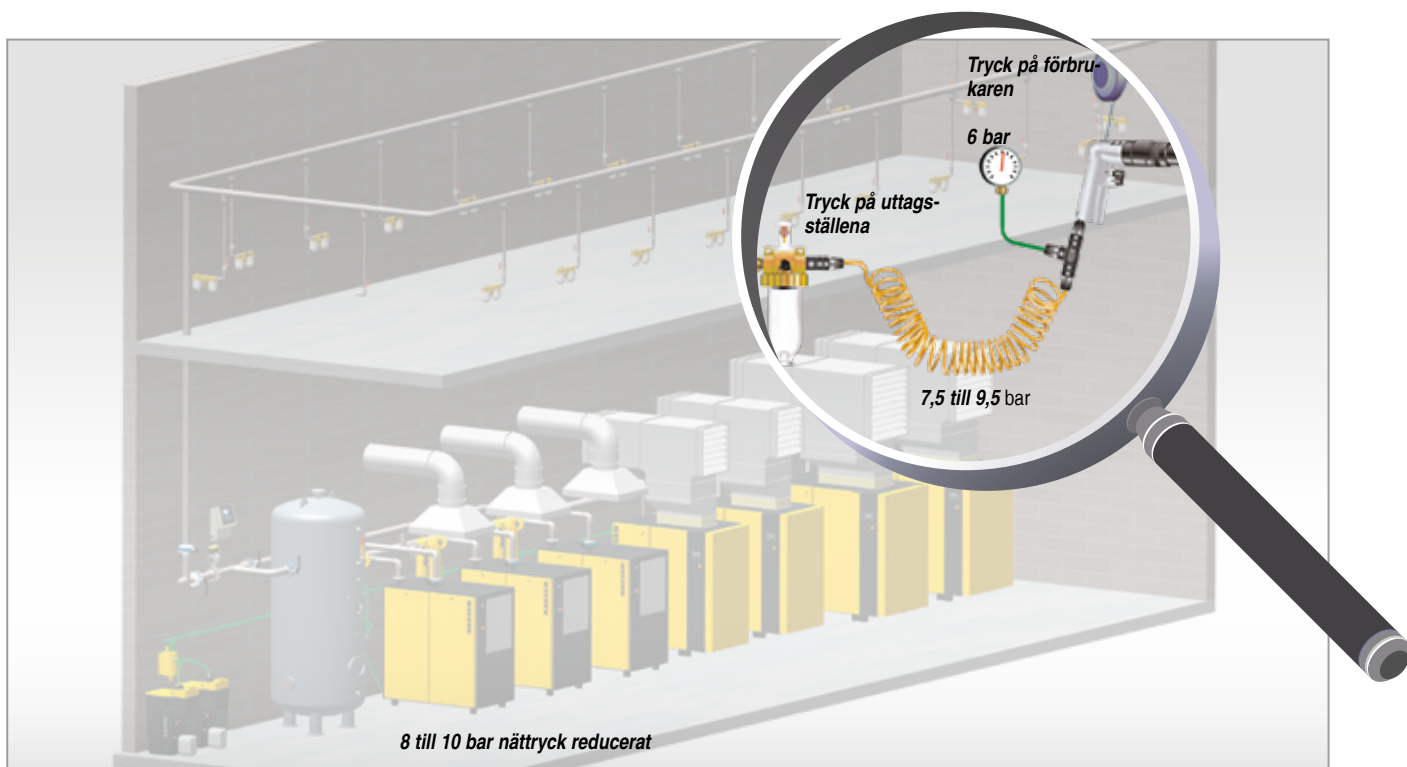


Verktygsanslutning med spiralslang – tryck 6,0 bar vid nollförbrukning av tryckluft. 4,0 bar vid verktygsdrift = 2 bar tryckfall vid verktygsdrift: endast 54 % effekt!

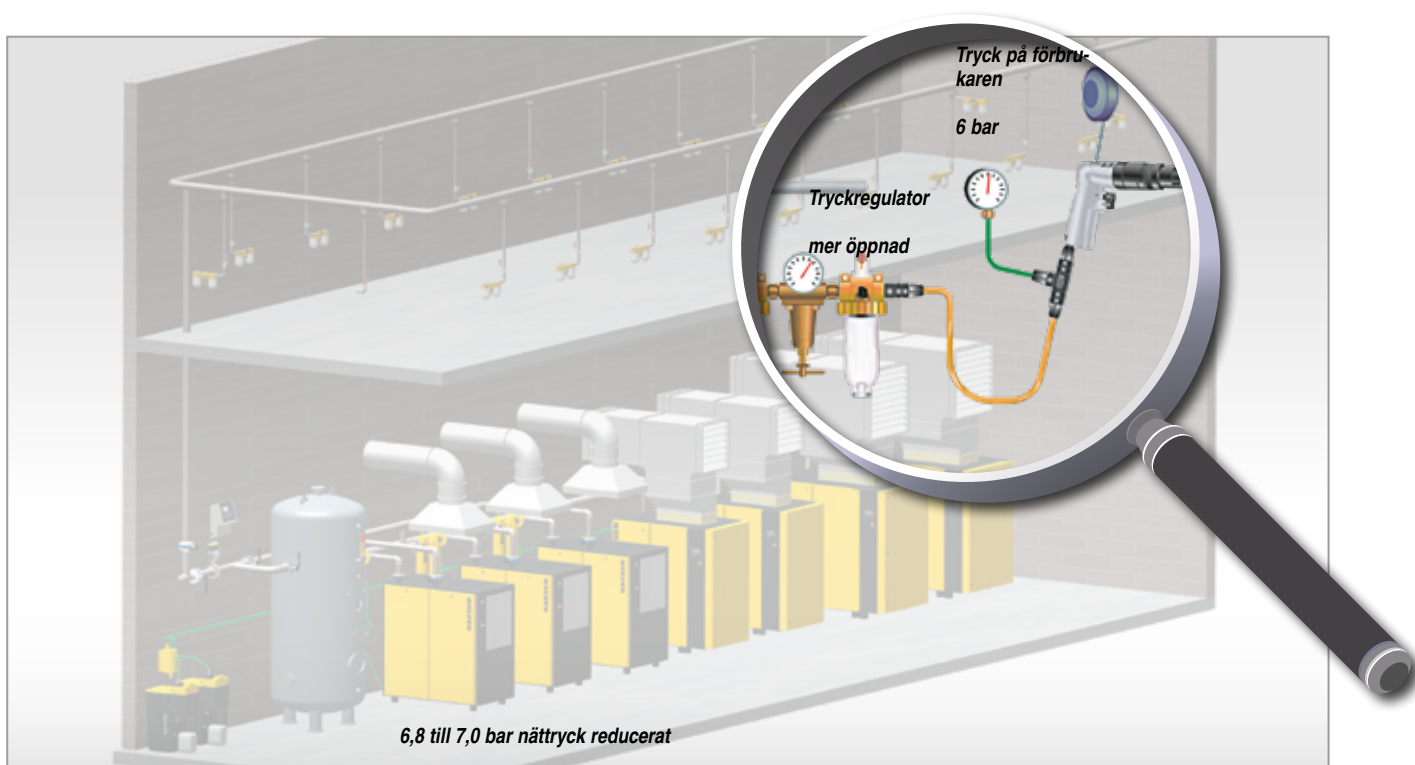


Vattenavskiljare och spiralslangar är energiätare: Torka istället tryckluften centralt och använd släta slangar – 6,0 bar vid verktygsdrift, 100 % effekt

verktygen. Konsekvenserna: arbetet tar längre tid, arbetsresultaten blir felaktiga på grund av för lågt tryck på verktyget och längre kompressorgångtider. Den eftersträlvade besparingen går däremot att uppnå utan problem om inte bara systemtrycket reduceras, utan samtidigt släta slangar används, överflödiga vattenavskiljare tas bort och tryckregulatorn öppnas mer på förbrukarna.



Rent energislöseri: Komprimera för mycket och sedan reducera tryck på förbrukaren ...



... istället: sänk systemtrycket och öppna tryckregulatorn mer

Tips 2

Rätt tryck vid luftanslutningen

Trycket i kompressorstationen stämmer egentligen, men trots det kommer för lite av det fram till luftförbrukaren. Vad beror det på?

Inte sällan är slangar, snabbkopplingar eller tryckregulatorer "bovarna". Ofta är emellertid trycket för lågt redan vid uttagsstället: därför kan det vara så att av de ursprungliga 6,8 till 7 bar förblir bara ynka 5 bar kvar för förbrukaren.

För det mesta går det snabbt att åtgärda: "Ställ in trycket i stationen 1 bar högre, vad är problemet?" Precis där blir det problematiskt, för varje bar som trycket höjs med ökar inte bara kompressorstationens energibehov med 6 %, utan ökar också läckagen betydligt. Därför är det att rekommendera att man istället hittar orsakerna och ser till att få dem åtgärdade.

Felkälla rörledningsnät

När trycket direkt efter kompressorn stämmer och efterkopplade behandlingskomponenter inte reducerar det särskilt mycket, kan felet bara ligga i rörledningsnätet. Det är indelat i tre avsnitt: huvudledning, fördelningsledning och tillkopplingsledning (**bild 1**). I ett optimerat tryckluftssystem är följande tryckfall ekonomiskt acceptabla:

Huvudledning (1):	0,03 bar
Fördelningsledning (2):	0,03 bar
Tillkopplingsledning (3):	0,04 bar
Därtill kommer:	
Tork (4):	0,2 bar
Underhållsenhet /slang (5):	0,5 bar
Totalt:	0,8 bar

Åtgärda "flaskhalsar"

Vid närmare betraktelse visar det sig ofta att huvud- och fördelningsledningarna visserligen ofta är tillräckligt dimensionerade, men att anslutningsledningarna är för trånga. Dess rörvidd bör inte vara mindre än DN 25 (1"). För exakt beräkning av tvärsnitt erbjuder KAESER KOMPRESSOREN ett verktyg på sin hemsida:

<http://www.kaeser.de/service/wissen/rechner/druckabfall/>

Kontrollera att anslutningen är rätt

För att undvika störningar och skador genom eventuellt skapad fukt, ska kopplingen mellan fördelnings- och tillkopplingsledning utföras som flödesgynnsam "svanhals" (**bild 2**): Bara när det är hundra procentigt säkerställt att

inget kondensvatten uppträder i rörledningen kan en direkt rörutgång nedåt väljas (**bild 3**).

Den optimerade anslutningen med ett tryckfall på högst 1 bar mellan tryckluftsutloppet på kompressorn och luftförbrukare ser då ut som på **sida 42/43**.

Snabbt luftuttag

När det gäller tryckluftsförbrukare som inte drivs kontinuerligt men som plötsligt kräver ett stort flöde kan en decentraliserad tryckluftsbehållare användas som buffertlager för att kompensera för en kortvarig tryckminskning (**bild 4**). Ett verktyg för detta finns också på KAESER KOMPRESSOREN-webbplatsen: <http://www.kaeser.de/service/wissen/rechner/behaeltergroessen/>



Bild 2: Svanhals



Bild 3: Direkt rörutlopp

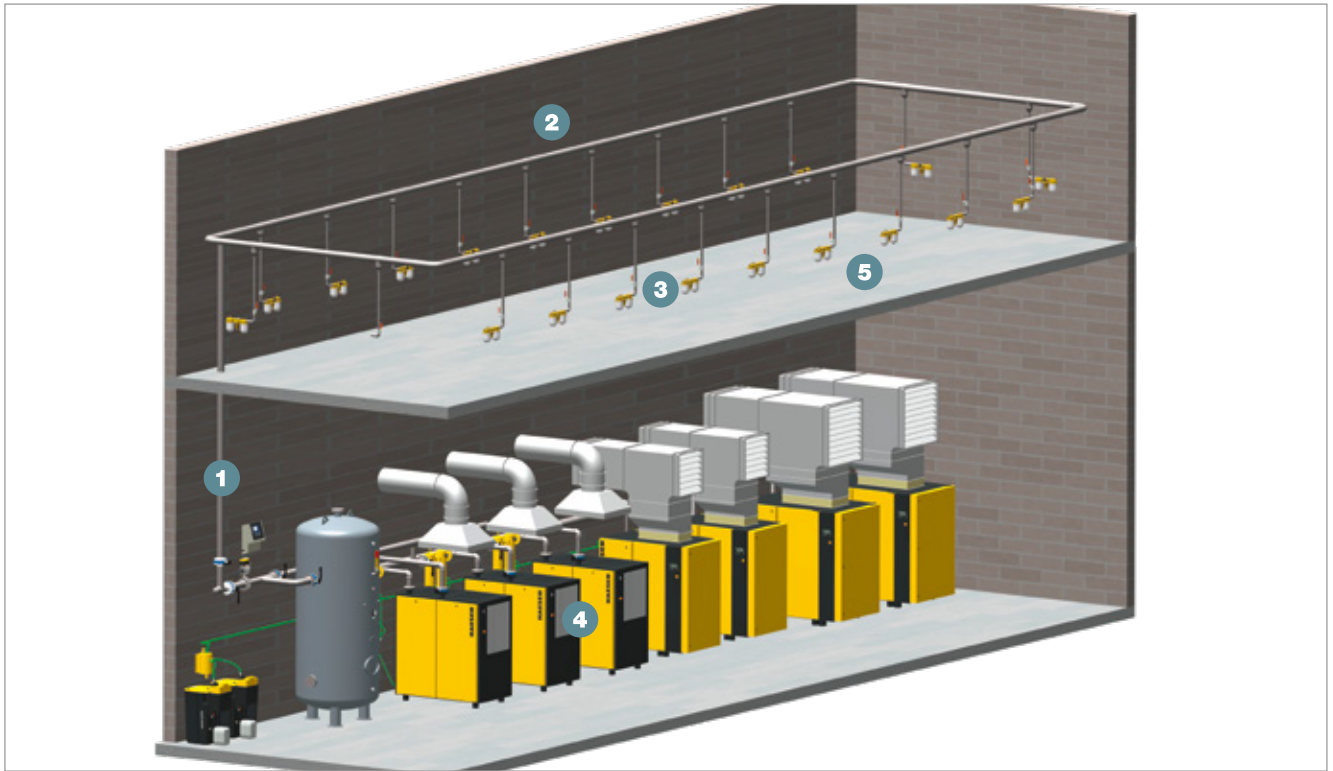


Bild 1: Huvudbeståndsdelar i ett tryckluftsfördelningssystem: huvudledning (1), fördelningsledning (2), tillkopplingsledning (3), tork (4), underhållsenhet/slang (5)



Bild 4: Tryckluftsbehållare som ackumulatortank

Tips 3

Effektiv fördelning av tryckluft

Vilket av de tre sätten att fördela tryckluft på under driften – avsticksledning, ringledning, nätverk – som är rätt, beror på driftsförhållandena. Den som vill använda tryckluft på ett lönsamt sätt måste inte bara åstadkomma en energibesparande produktion, utan också en så effektiv fördelning som möjligt inom företaget. Här får du veta hur.

Avsticksledning

Att installera en avsticksledning med utgångar till de olika tryckluftsförbrukarna (**bild 1**) är relativt enkelt. Den rörlängd som ska förläggas är visserligen jämförelsevis kort, men den kräver tillräcklig transportkapacitet för den sammantagna luftförbrukningen.

Det betyder att dess tvärsnitt måste vara betydligt större jämfört med ringledning eller nätverk. Även anslutningsledningarna till förbrukarna blir längre på grund av de längre sträckorna och måste därför dimensioneras större. Då de dessutom inte finns någon möjlighet att spärra av delar av rörledningssystemet för utvidgnings- eller saneringsarbeten, är avsticksledningar vanligtvis bara lämpliga för små företag.

Ringledning

Ringledningar (**bild 2**) har trots högre installationskostnader en avgörande fördel jämfört med avsticksledningar: Om förbrukare med lika stora tryckluftsböbehov föreligger, kan rörledningens längder och volymerna dimensioneras hälften så små. Då räcker mindre rörtvärsnitt för samma transportkapacitet. De kortare anslutningsledningarna dimensioneras sällan större än DN 25. Ett tillräckligt antal avstängningsenheter möjliggör att enskilda ledningsavsnitt kan stängas av för sanerings- eller utvidgningsarbeten vid löpande drift.

Nätverk

För storskaligt strukturerade företag rekommenderas ett rörledningssystem – alltså ett med längsgående och tvärgående kopplingar (rörmaskor) till en nätstruktur med utvidgad ringledning (**bild 3**). Visserligen är installationskostnaderna här som störst, men fördelarna överväger: tack vare nätstrukturen går det att försörja stora fabrikslokaler med

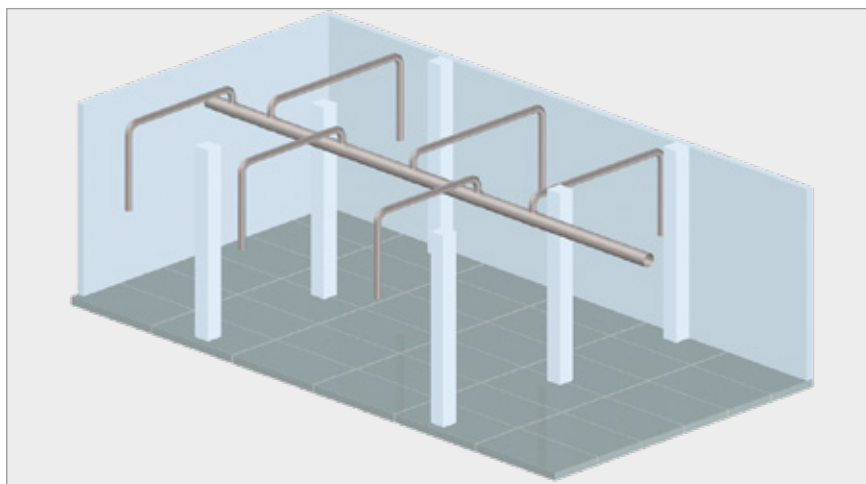


Bild 1: Tryckluftsavsticksledning

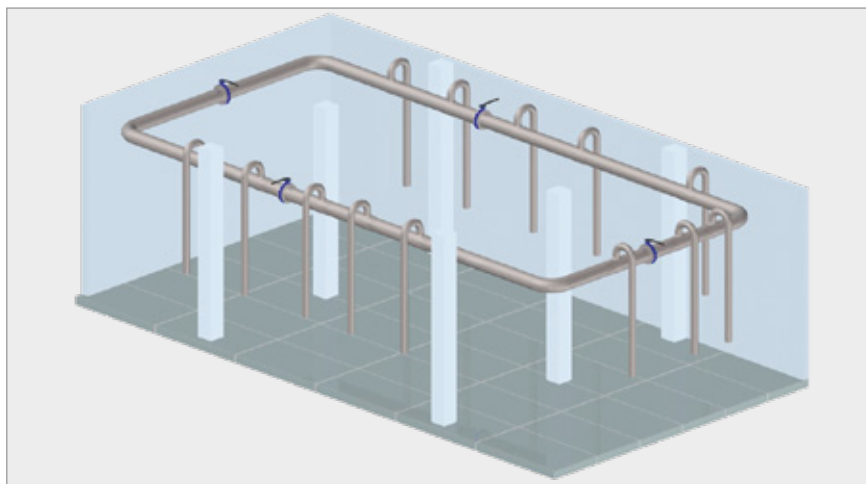


Bild 2: Tryckluftsringledning

tryckluft på ett tillförlitligt och energieffektivt sätt, utan att rörledningarnas dimensioner måste utvidgas. Tvärtom: på grund av sammanlänkningsenheten kan här – på liknande sätt som vid ringledning i små eller medelstora företag – dimensionerna hållas relativt små. Även i detta system går det att, när det krävs, stänga av delar genom avstängningsenheter.

Dimensionering av huvudledning/ar
Tryckluftssystemets huvudledning förbinder fördelningsledningarna hos

enskilda företagsområden (byggnader) med tryckluftsstationen (produktion).

Avgörande för dimensioneringen av tryckluftshuvudledningen är de använda kompressorernas totala effekt. Den bestämmer ledningens mått och kapacitet. Tryckförlusten bör inte överstiga 0,03 bar.

Produktion med en station

Om en tryckluftsstation försörjer flera företagsområden (produktionshallar),

ska de motsvarande huvudledningarna för de enskilda områdena dimensioneras för respektive områdes maximala tryckluftsbbehov (tryckförlust $< 0,03$ bar). Rörledningar som samlats i en rörledningssamlare i tryckluftsstationen har fördelen att tryckluftsförsörjningen för hela företagsområden vid behov enkelt kan spärras av. Med inbyggda flödesmätapparater går det dessutom att enkelt fastställa enskilda områdens luftförbrukning (**bild 4**).

Försörjning med flera stationer

Men om däremot två eller fler tryckluftsstationer matar ett stort huvudledningssystem, måste rörledningarna i detta system dimensioneras så att den största stationens högsta kapacitet kan transporteras till alla driftområden. Tryckfallet mellan de olika centralerna bör återigen inte vara högre än $0,03$ bar. I annat fall skulle komplicerade reglersystem krävas (**bild 5**).

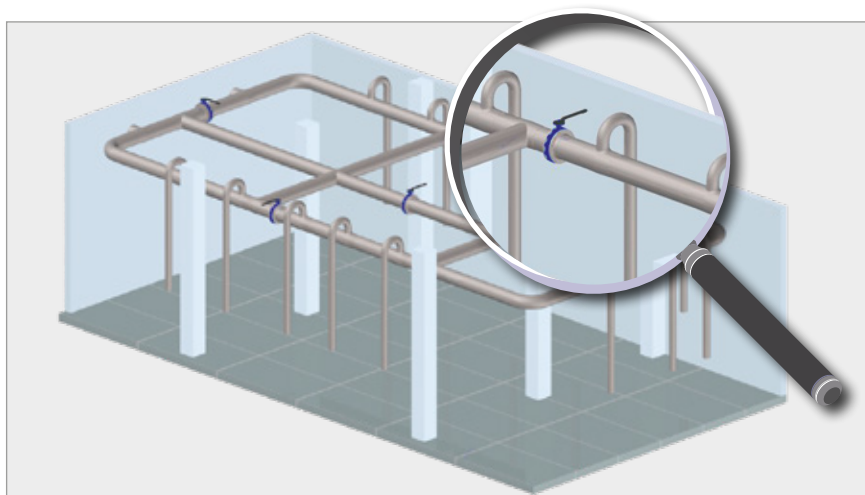


Bild 3: Tryckluftsledningsnät med rörmaskor

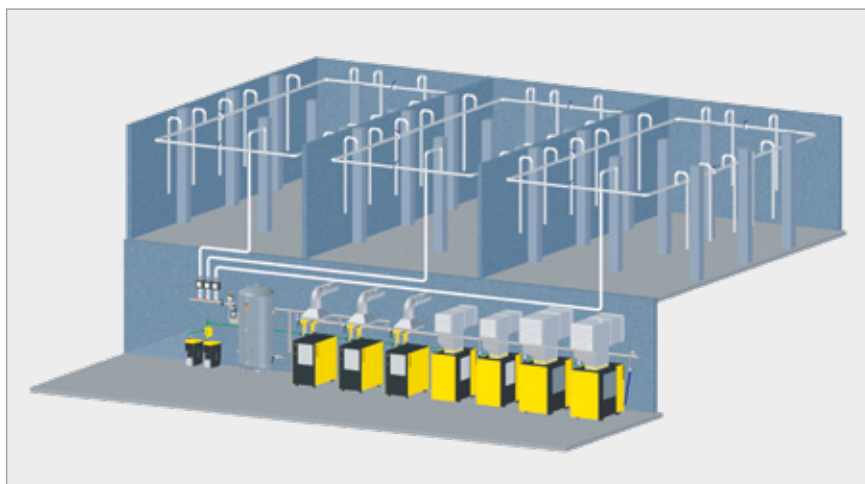


Bild 4: Tryckluftsförsörjning med en central tryckluftsstation för flera produktionsområden

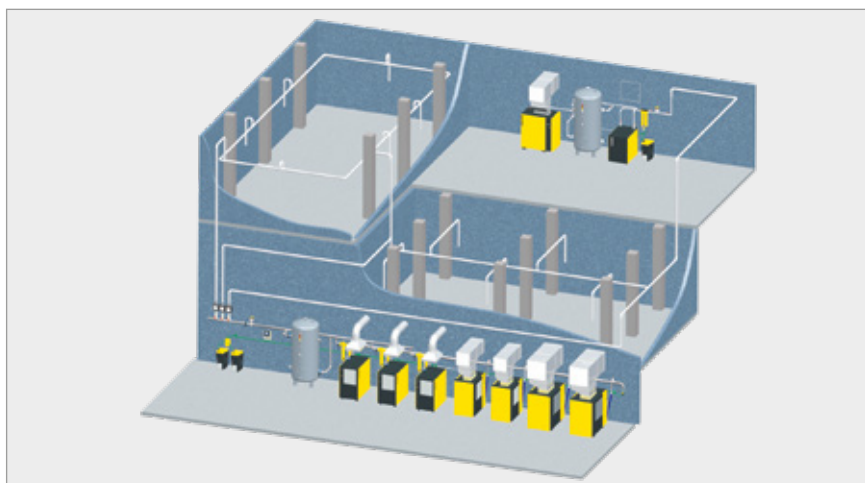


Bild 5: Tryckluftsförsörjning med två stationer och central styrning för flera produktionsområden

Tips 4

Rörledningar i tryckluftsstationen

Förutom fördelningen av tryckluft i verksamheten har rörledningarna uppgiften att koppla kompressorerna och de andra komponenterna i tryckluftsstationen till hela systemet. För att även här uppnå högsta möjliga driftssäkerhet och effektivitet, måste några viktiga punkter beaktas vid installationen.

Generellt bör rörledningar i tryckluftsstationen dimensioneras så att den tryckförlust som de orsakar uppgår till mindre än 0,01 bar vid full produktionskapacitet. Dessutom är det rekommendabelt att man där bara använder metallrör på grund av den ej definierbara värmebelastningen.

Anslutning av trycklufts-fördelningsledningarna

För anslutningen av rörledningarna till stationen vid tryckluftsnetet är det rekommenderat att man använder en samlare, från vilken sedan alla fördelningsledningar går ut (**bild 1.1**). Så om det krävs kan försörjningen spärras från bestämda företagsområden.

Installation i fuktområdet

I områden med fuktig tryckluft, det vill säga i rörledningsavsnitten efter kompressorerna och före torkarna, ska helst ingen kondensatfälla användas. Annars måste rörledningarna uppvisa ett fall i riktning mot kondensatfällan, och denna måste dräneras via en kondensatavledare (**bild 2**).

Koppla komponenterna på rätt sätt

Inuti tryckluftsstationen ska de enskilda komponenterna (kompressor, tork o.s.v.) förbindas med huvudledningen ovanifrån (**bild 3a, 3b**). Från en rörbredd på DN 100 kan de också anslutas i sidled om huvudrörets diameter är minst två storlekar större än tillkopplingsledningens diameter (t.ex. DN 100/DN 65).

Kompressoranslutning

För att inte föra över några vibrationer måste kompressorerna kopplas vibrationselastiskt med rörledningsnätet. För rörvidder < DN 65 är slangkopplingar lämpliga (**bild 4**). Mellan slang och första rörböjning monteras ett fäste som tar upp uppkommande krafter

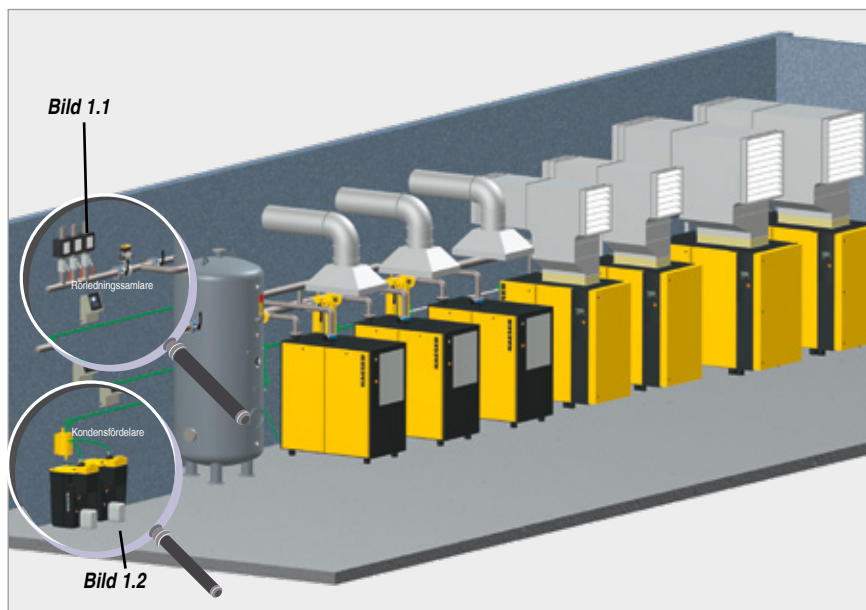


Bild 1: Tryckluftsstation med rörledningssamlare

och förhindrar att de överförs till röret (**bild 4.1**). För rörvidder större än DN 65 måste istället för en slang axialkompensatorer (**bild 3b**) användas för den vibrationselastiska anslutningen av kompressorn till rörledningsnätet.

Säker borttagning av kondensat

Ett tillförlitligt borttagande av det kondensat som bildas är en grundförutsättning för en optimal driftssäkerhet och en tillgång till tryckluftsstationen. Här gäller det att undvika fel, särskilt när kondensatledningen dras.

Trots modern dräneringsteknik dras ofta anslutningsledningarna till kondensatbehandlingssystemet på fel sätt. Den som istället följer **de här tipsen** kommer inte att begå det felet och hålla sig på den säkra sidan:

Stänga av kondensatavledare

Kondensatavledaren ska gå att stänga av med kulventil på båda sidor, så att den vid underhåll utan problem kan tas bort från systemet (**bild 2.1**).

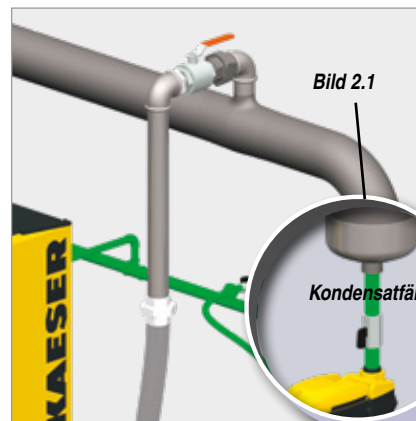


Bild 2: Rörledning med kondensatfälla och kondensatavledare

Riktig anslutningsstorlek

Anslutningen till samlarledningen måste minst vara 1/2 tum. Bara så kan ett onödigt dynamiskt tryck undvikas.

Anslutning ovanifrån

Kondensatledningarna ska anslutas till samlarledningen ovanifrån, så att dräneringsställena inte kan påverka varandra (**bild 3a (1)**).

Ledning trycklös – med fall

Under alla omständigheter ska kondensatuppsamlingsledningen dras med fritt fall. Den ska dessutom vara trycklös. Kondensatavledare från olika systemkomponenter (cyklonavskiljare, tryckluftsbehållare, kyltork, tryckluftsfilter) med olika trycknivå får bara leda in i en sådan ledning. Om det inte är fallet, måste olika anslutningsställen användas på kondensatbehandlingsenheten ("AQUAMAT").

Flera behandlingsenheter

Om flera behandlingsenheter är nödvändiga på grund av det bildade kondensatet, måste huvudkondensatledningen anslutas via en kondensatfördelare (**bild 1.2**).

Systemtryck över 16 bar

Vid system med en trycknivå på över 16 bar ska en separat högtrycks-avlastningskammare sättas in i behandlingsenheten innan kondensatet leds in.

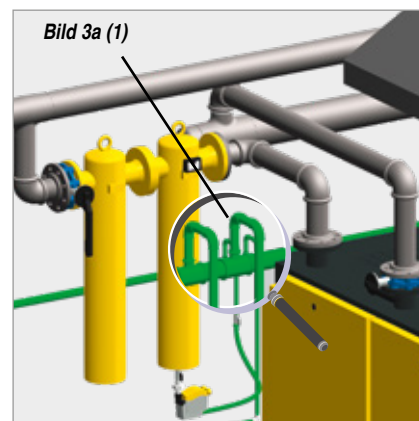


Bild 3a: Anslutning av kyltork och kondensatavledare (båda ovanifrån)



bild 3b: Vibrationselastisk kompressoranslutning med axialkompensator

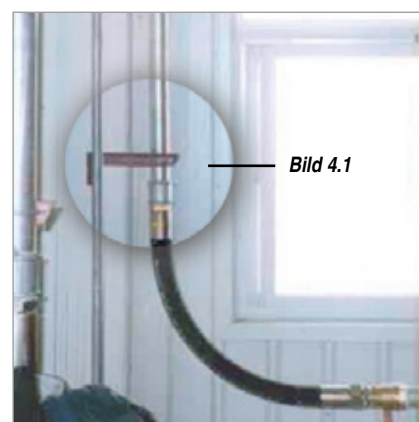


Bild 4: Vibrationselastisk kompressoranslutning med en slang

Tips 5

Korrekt uppställning av kompressorer

Uppställnings- och omgivningsvillkor påverkar lönsamheten och tillförlitligheten i tryckluftsförsörjningen avsevärt. Här gäller det framför allt att tänka på tre saker.

1. Hålla stationen ren

I många tryckluftsstationer lämnar renheten och underhållstillståndet mycket övrigt att önska, även om det inte överallt ser ut som i **bild 1**. Att hålla rent innebär framför allt att skydda anläggningarna från damm. Annars kommer kompressorernas insugningsluftfilter snabbt att sättas igen; det leder till ökat underhållsbehov, sämre effekt och påverkad luftkylning. Ytterligare följder vore kompressordriftsstörningar genom överhettning, att torkeffekten avtar, liksom ökad kondensatbildning med risk för skador på förbrukarna och minskad produktkvalitet. Om det inte



Bild 1: Försummad tryckluftsstation

går att undvika dammbelastning genom en lämplig uppställningsplats, rekommenderas att använda filtermattor eller filtersystem för central kylluft för att rena inloppsluften (**bild 2a, 2b**), men de får inte ha för hög inloppstryckförlust.

2. Måttliga temperaturer

Under den kalla årstiden ska tryckluftsstationen hållas frostfri. För det första produceras och transporteras fuktig tryckluft där före behandlingen. Vid frost skulle frusna ledningar på grund av kondensat få kännbara driftsstörningar till följd. För det andra har kompressorernas olja och lagerfett inskränkt smörjförmåga vid temperaturer under +5 °C, vilket också skulle orsaka driftsstörningar. På sommaren däremot kan så mycket kompressorspillvärme avledas att rumstemperaturen helst inte

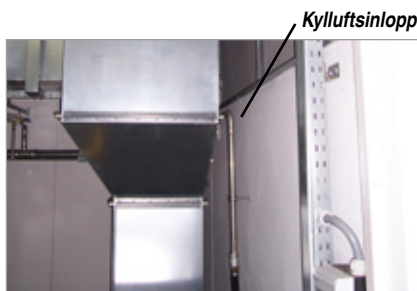


Bild 2a: Filtermattor för central kylning



Bild 2b: Kylluftsfiltersystem

ska överskrida utomhustemperaturen. Annars kan motorer och elektriska komponenter bli överhettade och torkarna bli överbelastade genom för lite återkylning av tryckluften. Det skulle få kraftig kondensatbildning och störningar på förbrukarna till följd. I värsta fall leder en på grund av otillräcklig ventilation och avluftning orsakad överhettning till att kompressorer och torkar helt slutar att fungera och därmed till ett totalstopp i tryckluftsförsörjningen.

Det förebyggs av kylsystem som automatiskt reglerar värmenivån i tryckluftsstationen via termostatiskt styrd till-, från och cirkulationsluftningsstyrning (**bild 3**).

3. Underhållsvänlig station

Moderna kompressorer och behandlingsenheter har visserligen ett lågt underhållsbehov – men helt utan underhåll går det inte. De ska placeras så att alla underhållsställen är lätt åtkomliga. Högsta möjliga lönsamhet och tillförlitlighet i tryckluftsförsörjningen går bara att uppnå om alla de tre kriterier som här har tagit upp beaktas tillräckligt.



Bild 3: Tryckluftsstation med termostatiskt styrd luftstyrning

Tips 6

Luftning av tryckluftsstationer

Rätt ventilation av en tryckluftsstation kan bidra i betydande grad till tryckluftstillgång och minimering av underhållskostnaderna.

1. Rätt placering av tilluftsöppningar

För ventilation av tryckluftsstationen är tilluftsöppningarnas lägen mycket viktiga. För driftssäkerhet och tillförlitlighet ska den luft som tillförs utifrån vara påverkad av vädret i så liten utsträckning som möjligt. Därför rekommenderas att tilluftsöppningar placeras på skuggsidan skyddade från vädret på den nedre hälften av stationens yttervägg.

2. Håll smuts och skadliga ämnen på avstånd

Det måste säkerställas att så lite damm och skadliga ämnen som möjligt sugas in. Till dem hör aggressiva och brännbara ämnen liksom även avgaser ur förbränningsmotorer. Lastbilstrafik bör förbjudas i tryckluftsstationens luftinsugningszon. Om det inte går att undvika en hög mängd av damm eller smuts i stationens omgivning måste lämpliga skyddsåtgärder vidtas. Vid måttlig belastning hjälper kylfilter, i extremfall så kallade dammfällor.

3. Dimensionera och utrusta

Tilluftsöppningens storlek beror till att börja med på den befintliga luftkylda kompressorns effekt. För varje kilowatt installerad nominell effekt bör 0,02 till 0,03 m² antas för tilluftsöppningens fria tvärsnitt. Det motsvarar en kylluftsmängd på 130 till 230 m³/h.

Angivelsen "fritt tvärsnitt" ska särskilt beaktas. Vädterskyddsgaller, jalousier och de för ogynnsamma insugningsförhållanden nödvändiga filtren minskar detta tvärsnitt avsevärt: beroende på fläktsystem uppgår reduceringen till mellan 20 och 60 %. Det lönar sig att välja så flödesgynnsamma fläktsystem som möjligt. Under alla omständigheter ska tvärsnittsminskningar som orsakats av skydds- och styrenheter kompenseras.

Vanligtvis består ett tilluftssystem (bild

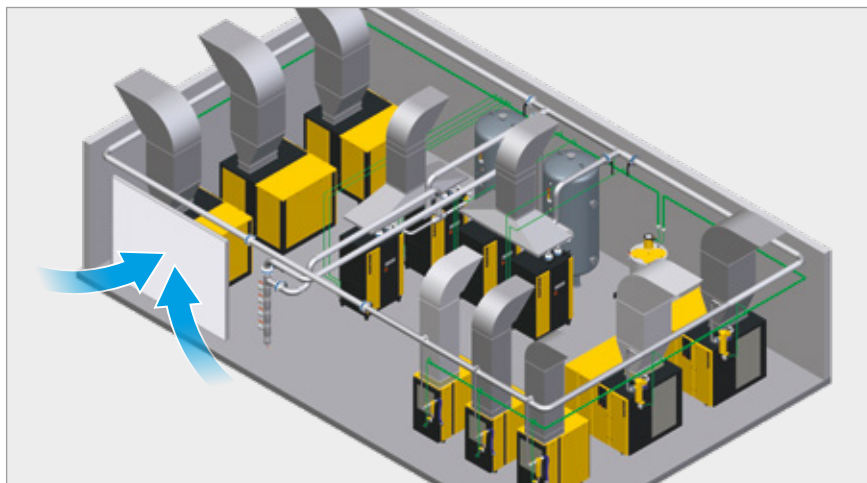


Bild 2: Tryckluftsstation med tilluftssystem

1) av vädterskyddsgaller, fågelskyddsgaller, motorstyrda tilluftsjaousier och eventuellt tilluftsfilter. Vid stationer med flera kompressorer rekommenderas att tilluftssystemen styrs termostatisk och att deras öppningar delas upp utifrån läge och effekt hos de enskilda anläggningarna (bild 2).

4. Även vattenkylda kompressorer ska ventileras

Även kompressorer med vattenkylning drivs vanligtvis av luftkylda motorer och avger strålningsvärme, de behöver alltså också en tillräcklig ventilation. Ungefär 10 % av den installerade effekten hos en vattenkyld kompressor ska transporteras bort som spillvärme med kyluft. Därför måste även här tilluftsöppningarna vara dimensionerade på motsvarande sätt.

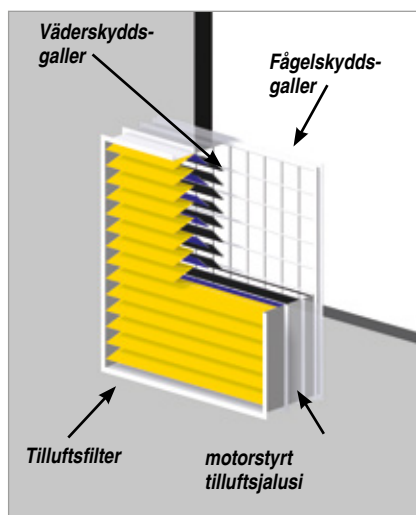


Bild 1: Tilluftssystem (uppbyggnad)

Avluftning av tryckluftsstationer

Den som vill säkerställa tryckluftstillgången och hålla underhållskostnaderna låga måste avlufta tryckluftsstationen på ett lämpligt sätt. Om utomhustemperaturen sjunker under +5 °C ska stationens driftsrum tempereras med cirkulationsluft.

1. Enkel ledning av frånluft

Frånluftskanaler fyller en viktig funktion i tryckluftsstationen: de avlägsnar uppvärmd kylluft och med den motor-spillvärme och strålningsvärme från kompressorerna (**bild 1**). På moderna maskiner leds spillvärmen som kommer från olika källor bort från anläggningen via en enda frånluftöppning (**bild 1, förstoring**). Denna ska kopplas flexibelt till frånluftskanalen via en segelduksstuts (**bild 2**). Vid yttre temperaturer över +10 °C avlägsnas på så vis all värmemängd som avletts via luft från kompressorernas driftsrum. På den ofta fortfarande avskilda frånluftsledningen i äldre kompressorer ska vid behov enskilda kanaler byggas in.

2. Installera samlingskanal

Om enskilda frånluftkanaler inte är



Bild 2: Kompressorns fläktanslutning med segelduksstuts

byggtekniskt möjligt, är en (**bild 3**) samlingskanal för frånluft lösningen. För att förbinda kompressorerna korrekt behövs jalousispjäll. När de är stängda hindrar de att varm luft strömmar tillbaka in i stationen om respektive kompressor har stannat. Motorstyrda jalousispjäll minskar tryckförlusten och låter sig styras med signalen "motor på". Mellanväggar i samlingskanalen minskar tryckförluster.

3. Temperera med cirkulationsluft

Vid yttre temperaturer på under +5 °C måste cirkulationsluftsspjällsystem finnas, som aktiveras från och med +10 °C, som alltså öppnar sig mer eller mindre beroende på temperatur (**bild 1**). Vid tidvis helt stoppade tryckluftsstationer måste en extra värmare hålla temperaturen över +5 °C i driftsrummet.

4. Avlufta kyltork

Kyltorkar producerar ca det fyrdubbla av den elektriska effekt som de tillförs i form av värme. Därför behöver de ha ett eget frånluftssystem med en termostatiskt styrd fläkt (**bild 1 och 3**). Om anläggningen har flera kyltorkar, måste fläkten ha en nivåstyrning som aktiveras från en temperatur på +20 °C. Eftersom detta frånluftssystem inte arbetar hela tiden får frånluftskanalen inte placeras direkt på torken – såvida inte torken har en kraftfull integrerad fläkt med motsvarande restkomprimering.

5. Korrekt utformning och styrning av frånluftssystem

Alla frånluftssystem måste vara dimensionerade på ett sådant sätt att de inte framkallar större tryckförlust än den minsta maskinen levererar till restkomprimering (beakta tillverkarens uppgifter). Annars strömmar frånluften från anläggningen tillbaka till driftsrummet. Om restkomprimeringen inte är tillräcklig behövs ytterligare fläktar. Spjällen bör styras automatiskt via rumstermostater och kompressorer. För att snabbt kunna upptäcka funktionsfel på spjällen, och föra dem vidare till styrsystemet rekommenderas övervakning med en maskinövergripande styrning (t.ex. "SIGMA AIR MANAGER 4.0").

6. Specialfall vattenkyllning

Eftersom även vattenkylda kompressorer avger ca 10 % av den installerade effekten i form av strålningsvärme är det lämpligt att avlufta också dem.

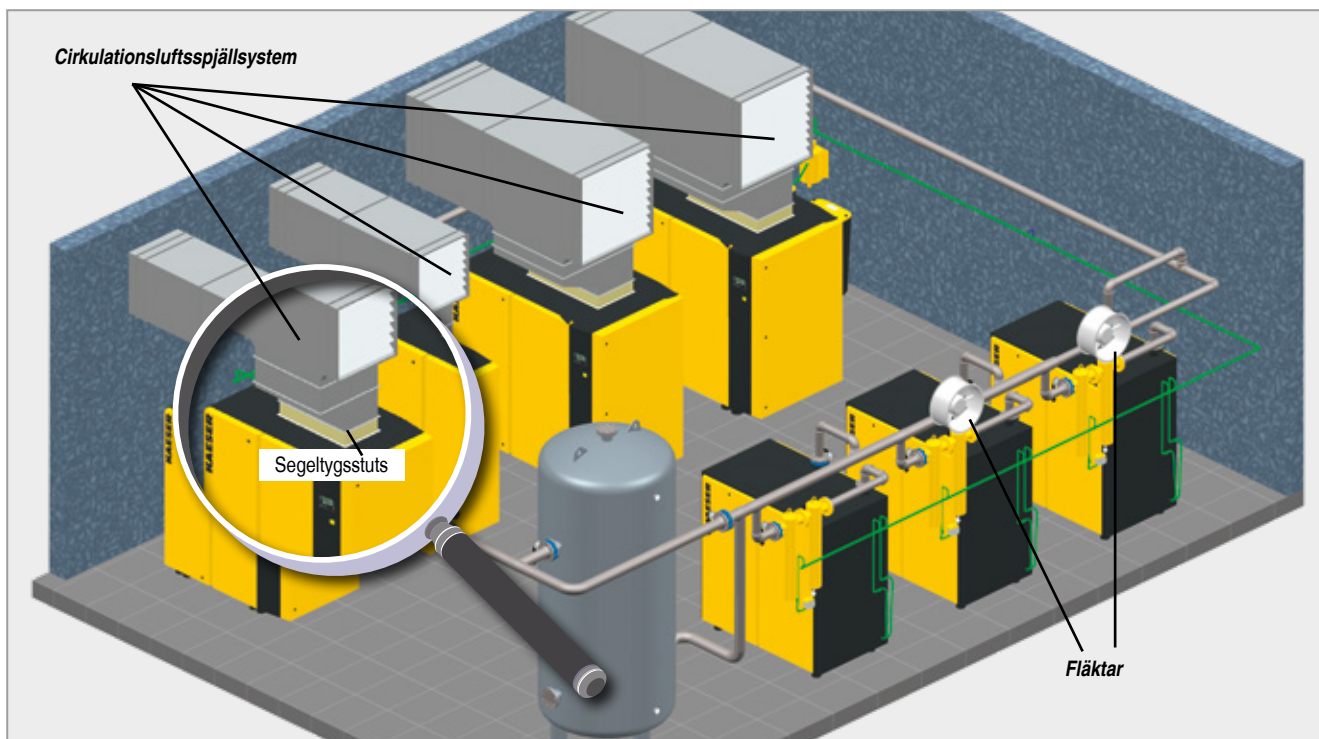


Bild 1: Frånluftssystem med enskild kanal för varje kompressor

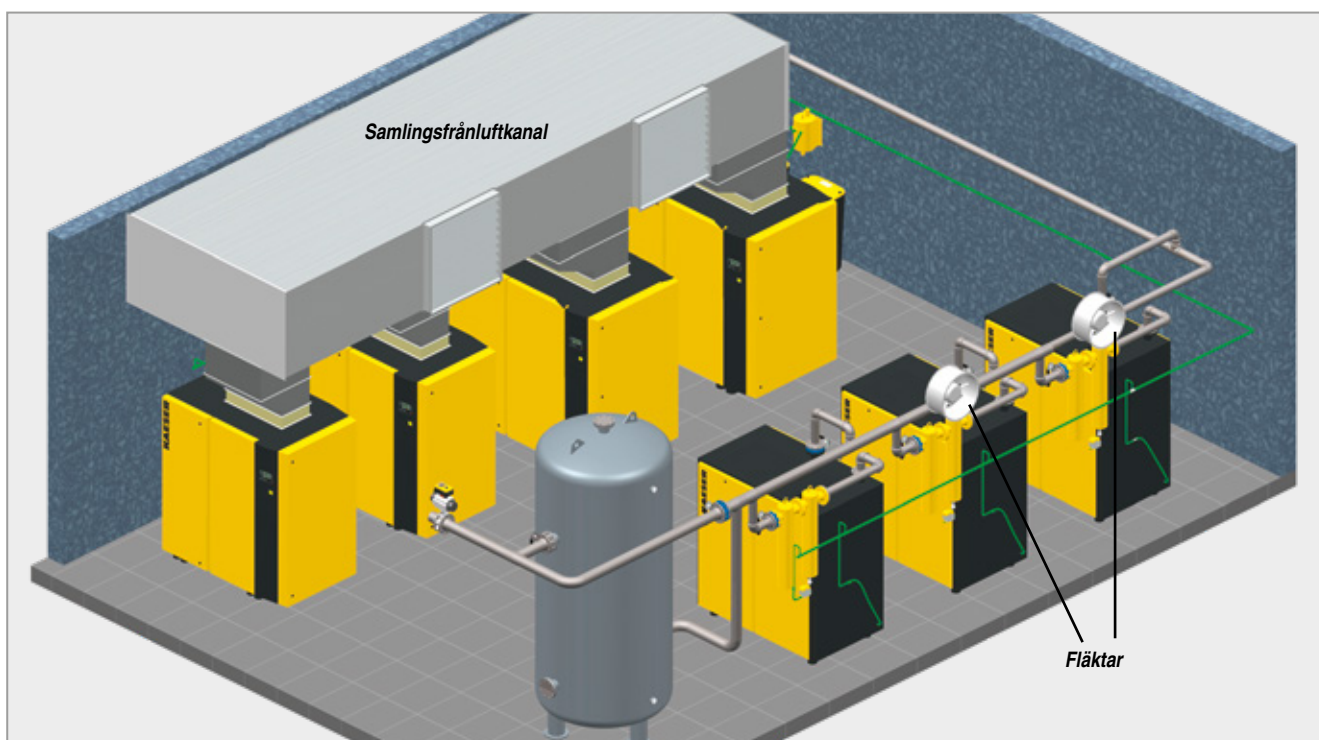


Bild 3: Frånluftssystem med huvudfrånluftskanal för alla kompressor

Bilaga

Frågeformulär

anteckningar

54-57

Frågeformulär tryckluftstation

Energy Saving System Service



1. What free air delivery do the compressors need to provide?

1.1 Air consumption of tools and machines used

Tools, machines	Air consumption per tool, machine m ³ /min	No. of tools, machines	Load / duty cycle %	Simultaneity factor %	Actual calculated air consumption m ³ /min
		x		x	=
		x		x	=
		x		x	=
		x		x	=
		x		x	=
		x		x	=

Air consumption of all tools

=

V_{Tools} m³/min

+

1.2 Other consumers

V_{Other} m³/min

+

1.3 Compressed air network leakages

V_{Leakage} m³/min

+

1.4 Reserve

V_{Reserve} m³/min

Min. req'd free air delivery from the compressors

=

V_{Total} m³/min

Energy Saving System Service



2. Are compressors already in use?

☐ No

☐ Yes

Operator's designation	Manufacturer	Model	Pressure bar _(g)	Free air delivery m ³ /min	Continued use planned?	
					Yes	No
					☐	☐
					☐	☐
					☐	☐
					☐	☐
					☐	☐
					☐	☐

Total free air delivery of existing compressors that will continue to be used

= V_{Existing} m³/min

Existing compressed air treatment components:

Type/model (dryer, filter, drain etc.)	Manufacturer	Designed for m ³ /min	bar(g)	Remarks e.g. Incorrectly sized

Frågeformulär tryckluftsstation

Energy Saving System Service



3. Have standby compressors been in use up until now (reserve capacity, back-up)?

☐ Yes, how many?

☐ No

☐ Planned for the future

4. Is a master controller in use?

☐ Yes, which?

☐ No

Planned for the future:

☐ Base load sequencer

☐ Master controller SAM _/_

☐ Master controller VESIS

5. Is heat recovery used?

☐ Yes, purpose:

☐ No

☐ Planned for the future:

6. What grade of compressed air quality is required?

(refer to worksheet "Compressed air treatment, condensate treatment")

Centralised Air consumption m³/min		Local Air consumption m³/min		Compressed air quality class as per ISO/DIS 8573-1		
				Remaining oil content	Remaining dust	Remaining water
☐		☐				
☐		☐				
☐		☐				
☐		☐				

Energy Saving System Service



7. What maximum pressure do the compressors need to provide?

7.1 Min. required working pressure at the consumer

p_{Wmin} bar_(g)

7.2 Pressure losses

across the pipe network

Pipework material

Alternative: Length of pipe network m

+
 p_P bar

from the activated carbon adsorber

p_{ACmin} bar

+
 p_{ACmax} bar

from the sterile filter

p_{FSTmin} bar

+
 p_{FSTmax} bar

from the microfilter

p_{FXmin} bar

+
 p_{FXmax} bar

from the microfilter combination

p_{FXmin} bar

+
 p_{FXmax} bar

from other filters

p_{FVmin} bar

+
 p_{FVmax} bar

from the dryers

+
 p_{Dry} bar

7.3 Compressor control deviation

+
 $p_{Control}$ bar

Required maximum pressure from the compressors

= p_{MaxReq} bar_(g)

Minimum pressure from the compressors ($p_{MaxReq} - p_{Control}$)

p_{min} bar_(g)

Frågeformulär tryckluftsstation

Energy Saving System Service



8. Operating conditions

8.1 Maximum intake temperature

t_{lmax} °C

8.2 Minimum air pressure (at max. intake temperature)

P_{lmin} bar

8.3 Maximum relative air humidity (at max. intake temperature)

$H_{rellmax}$ %

8.4 Minimum intake temperature

t_{lmin} °C

8.5 Cooling

☐ Air-cooled

☐ Water-cooled

☐ Closed cooling system

Cooling water inlet temperatures

t_{InMax} °C

☐ Open cooling system

t_{InMin} °C

Cooling water quality:

Cooling water return temperatures

t_{RetMax} °C

☐ As per KAESER standard

t_{RetMin} °C

Cooling water pressure

p_{CoolW} bar_(g)

Energy Saving System Service



8.6 Heat recovery

☐ Use of hot air	Purpose:	
☐ Water heating	Purpose:	
	Water inlet temperature	t_{InHR} °C
	Water return temperature	t_{RetHR} °C
	Water volume	V_{WaterHR} m³/h

8.7 Compressor room installation conditions

Dustiness

☐ Low
☐ High

Cleanliness

☐ Low
☐ High

Ventilation opening

☐ present,		m²
☐ Not present		

Exhaust opening

☐ present,		m²
☐ Not present		

Anteckningar

Notera den viktigaste informationen:

[illegible]

Vi finns över hela världen

KAESER KOMPRESSOREN är en av världens största tillverkare och leverantörer av kompressorer, trycklufts- och blåssystem och finns över hela världen.

I över 140 länder levererar egna dotterbolag och samarbetsföretag toppmoderna, effektiva och pålitliga tryckluftsanläggningar och blåsmaskiner till användarna.

Yrkeseferna konsulter och ingenjörer erbjuder omfattande rådgivning och utvecklar individuella, energieffektiva lösningar för alla användningsområden inom tryckluft och blåsmaskiner. Den internationella KAESER-gruppens datornätverk gör systemleverantörens kunskaper tillgängliga för alla kunder över hela världen.

Den högt kvalificerade, globala försäljnings- och serviceorganisationen garanterar inte bara optimal effektivitet utan också högsta möjliga tillgänglighet för alla KAESER produkter och tjänster.



KAESER Kompressorer AB

Box 7329 – 187 14 Täby – Telefon: 08-544 443 30 – Fax: 08-630 10 65
E-Mail: info.sweden@kaeser.com – www.kaeser.com