

Krav på tryckluftssystem

Vägledning för energieffektiva
tryckluftssystem

Denna rapport har tagits fram av
CIT Renergy AB på uppdrag av
Energimyndigheten

Denna rapport är framtagen av CIT Renergy
på uppdrag av Energimyndigheten

Författare: Matthias Schmitz, Pontus Bokinge

Energimyndighetens publikationer kan laddas ner
eller beställas via energimyndigheten.se
Statens energimyndighet, december 2025
ER 2025:28
ISSN 1403-1892
ISBN (pdf) 978-91-7993-250-3

Grafisk form: Energimyndigheten (omslag), Arkitektkopia AB (inlaga)

Bilder: Figur 1, 2, 3 och 6 Energimyndigheten, figur 4 AI-genererad, figur 5 Adobe Stock

Förord

Ökad energieffektivisering av tryckluftssystem är en del av omställningen till ett mer resurseffektivt samhälle. Vägledningens broschyren ”Krav på tryckluftssystem” (ET 2006:12) togs fram 1999, omarbetades 2006 och uppdateras nu. Detta är den andra i en serie av vägledningar inom energieffektivisering för industriella stödsystem.

Den gamla vägledningen fokuserade på upphandlingsprocessen, kravspecifikationslistor och återbetalningstider, vilket har anpassats i den uppdaterade versionen. En genomgång av relevant lagstiftning för branschen har lagts till, liksom ett kort teoretiskt bakgrundskapitel. Dessutom förklaras alla relevanta klasser av komponenter i ett tryckluftssystem för att kunna förstå systemets dimensionering. Ett avsnitt har ägnats åt att belysa digitaliseringens intåg i tryckluftsvärlden och vikten av organisationen i att bygga energieffektiva tryckluftssystem.

Genom att använda vägledningen ska användaren kunna ta de första stegen i att bedöma ett tryckluftssystemets sammanlagda energieffektivitet och vidta åtgärda för att åtgärda eventuella brister. Vägledningen ersätter inte detaljerade analyser som teknik- och tjänsteleverantörer kan erbjuda.

Denna vägledning har tagits fram av CIT Renergy AB under 2025 på uppdrag av Energimyndigheten. Slutsatser och förslag som framförs i rapporten är författarnas egna. Författarna vill rikta ett tack till Kristian Lang (Atlas Copco Compressors AB), Erland Birath (Kaeser Kompressorer AB), Johan Agnell (Ingersoll Rand AB), Mikael Jansson (Granzow AB) och Daniel Winkler (LMS Nordic) som bistod med teknisk kunskap under uppdraget.

Carl-Mikael Strauss
Enhetschef enheten för näringsliv

Innehåll

1	Introduktion	3
	Bakgrund till vägledningen	3
	Varför tryckluft?	3
	Begrepp och definitioner	4
2	Komponenter i tryckluftssystem	6
2.1	Kompressorer	6
2.2	Luftbehandling	9
2.3	Kylning och värmeåtervinning	11
2.4	Styrsystem	12
2.5	Rörsystem	13
3	Energieffektiva tryckluftssystem	14
3.1	Allmänna råd	14
3.2	Läckage och tryckfall	14
3.3	Driftoptimeringar	17
3.4	Uppgraderad utrustning	17
3.5	Digitalisering, mätning och organisation	19
4	Lagkrav/ekodesigndirektiv/tryckluftsklasser	21
	Referenser	24

1 Introduktion

Bakgrund till vägledningen

Tryckluft är en mångsidig energibärare som används för många ändamål i svensk industri. Av de ca. 45 TWh el som industrin använde under 2023 går ca. 3% till tryckluftsproduktion – inom verkstadsindustrin är andelen högre än så.

Vägledningen vänder sig till dig som jobbar antingen specifikt med tryckluft eller med energianvändning i industrin i bredare bemärkelse och som vill förstå hur energiförbrukningen i tryckluftssystem kan optimeras. Fokuset ligger på fast installerade tryckluftssystem i industrin. För detaljerad information kring till exempel vakuumteknologi, blåsmaskiner eller mobila kompressorer för bygg- och anläggningsbranschen hänvisas till annan litteratur eller respektive tillverkare.

Varför tryckluft?

I industriella sammanhang har tryckluft använts i stor skala sedan 1800-talet, när de första ångdrivna kompressorerna möjliggjorde stora produktivitetsökningar i till exempel gruvnäringen. Sedan dess har användningsområdena ökat och tryckluft används som energibärare, för styrning av maskiner i produktionsprocesser, för kylning, rengöring och i mängder av andra tillämpningar. Idag skulle väldigt få industriföretag klara sig utan tryckluft.

Tryckluft har en rad fördelar jämfört med andra energibärare: den är ogiftig, behöver ingen returledning, kan transporteras över långa distanser och är förhållandevis lätt att lagra i tryckbehållare. Oljefri tryckluft uppfyller dessutom höga krav på renhet, vilket är viktigt inom livsmedel-, textil-, förpacknings- eller medicinteknisk industri. Tryckluft är dock också dyr att framställa och har en låg verkningsgrad, som diskuteras senare.

I tillämpningar där tryckluft primärt används som energibärare för olika typer av till exempel verktyg eller ställdon i automationsteknik, kan användaren välja mellan olika tekniska alternativ. Vid sidan om tryckluft kan dessa omfatta hydrauliska, mekaniska eller elektriska lösningar. Det är viktigt att känna till deras specifika styrkor och svagheter för att rätt teknik ska väljas i varje applikation. Tryckluftsdrivna verktyg är i regel konstruerade på ett väldigt enkelt sätt, vilket gör dem robusta och tillförlitliga även i krävande miljöer, till exempel vid höga temperaturer, men också lättare och ofta billigare i inköp än eldrivna varianter. Tryckluft som arbetsmedium har dessutom fördelen att kunna användas i fuktiga eller explosionsfarliga miljöer, där eldrivna verktyg måste säkras mot potentiella risker kopplade till elektricitet.

Mot dessa fördelar står framför allt en låg verkningsgrad som nackdel – en kWh energi som används i ett tryckluftsverktyg kräver att 7–8 kWh elektrisk energi har använts i kompressorn. Om mycket tryckluft används, äts därför det lägre inköspriset för ett tryckluftsverktyg snabbt upp av dess högre driftkostnad.

Eftersom vissa verktyg kräver smörjning kan avluften också innehålla oljedimma, vilket kan bidra till lägre luftkvalitet i lokalen. Även ljudbelastningen kan vara högre.

När man väljer mellan tryckluft och andra energibärare måste de olika för- och nackdelarna vägas mot varandra. En grundregel är att tryckluft kan vara ett bra alternativ om det föreligger särskilda krav på säkerhet eller ergonomi samtidigt som energikostnader spelar mindre roll, till exempel för att ett verktyg inte används kontinuerligt.

Begrepp och definitioner

Tryck, temperatur och volym

Trycket kan definieras på olika sätt beroende på referenstrycket. De flesta manometrar mäter differensstrycket mellan tryckluftssystemet och atmosfären, vilket även kallas för effektivt tryck eller övertryck och betecknas $p(g)$ eller $p(e)$. Ska istället absoluttrycket, betecknat $p(a)$, definieras så måste atmosfärstrycket adderas till det avlästa värdet. Detta är viktigt att hålla koll på då olika leverantörer kan använda olika tryckdefinitioner i sina datablad.

Tryckluft produceras genom en kompression av luft från atmosfärstryck. Kompressionsprocessen kan förenklat sägas följa den så kallade *ideala gaslagen*, som beskriver sambandet mellan förändringar i tryck, volym och temperatur¹.

En volymändring ligger till grund för tryckluftsproduktionen i enkla kolvkompressorer: när kolven trycker ihop en instängd luftvolym, så stiger trycket. Om ingen kylning tillåts i processen stiger dessutom temperaturen. Större tryckluftssystem behöver därför kylanordningar.

Luftflödet en kompressor kan leverera eller en förbrukare behöver för att funka beskrivs ofta i m^3_{FAD} per tidsenhet, där FAD står för *free air delivery*². Detta mått utgår från ett uppmätt flöde på trycksidan, men räknas tillbaka till standardiserade tryck- och temperaturförhållanden³: $1 m^3_{FAD}/h$ vid 7 bar (g) betyder till exempel inte att kompressorn levererar just $1 m^3/h$ vid 7 bar (g) till en förbrukare, utan att det flödet som levereras vid 7 bar (g) motsvarar $1 m^3/h$ vid standardförhållanden. Anledningen att göra så är för att kunna jämföra prestandan bättre mellan olika verktyg och kompressorer, oavsett vilka tryck- och temperaturförhållanden som gäller där utrustningen används. Fri avgiven luftmängd/free air delivery måste skiljas ifrån andra begrepp såsom slagvolym eller genomlupen cylindervolym för att inte dimensionera kompressorn felaktigt.

Fuktig luft

Luft är nästan aldrig helt torr utan innehåller fukt i form av vattenånga. Om temperaturen sjunker kommer delar av vattenångan kondensera. Temperaturen då kondensation inträffar för en specifik halt av vattenånga i luften kallas för *daggpunkt*. Ju mer vattenånga luften innehåller, desto högre blir daggpunkten, vilket innebär att kondensation sker vid högre temperatur. Daggpunkten är viktig att ta hänsyn till vid planeringen av ett tryckluftssystem så att inget flytande vatten kan förekomma på oönskade ställen och orsaka korrosion eller mikrobiell tillväxt.

¹ Ideala gaslagen: $\frac{p \cdot V}{T} = konst.$, där p =tryck, V =volym, T =temperatur

² I svenska sammanhang används synonymt även förkortningen FAL (*fri avgiven luftmängd*).

³ Förhållandena definieras i ISO1217 till 1 bar, 20°C och 0% relativ luftfuktighet

Även lufttrycket spelar roll för kondensationsproblem eftersom en kompression leder till en höjning av daggpunkten, dvs att kondensation i trycksatta system uppstår vid högre temperaturer än i system vid atmosfärstryck. Om lufttrycket inte är lika med det atmosfäriska trycket (vilket stämmer för tryckluftssystem) är därför den så kallade *tryckdaggpunkten* av betydelse, som anger temperaturen då vattendroppar börjar bildas vid olika tryck för en given fukthalt.

Den praktiska konsekvensen av detta är att tryckluft i regel måste torkas efter kompressionen för att undvika problem med kondensation i systemet, se kapitel 2.

2 Komponenter i tryckluftssystem

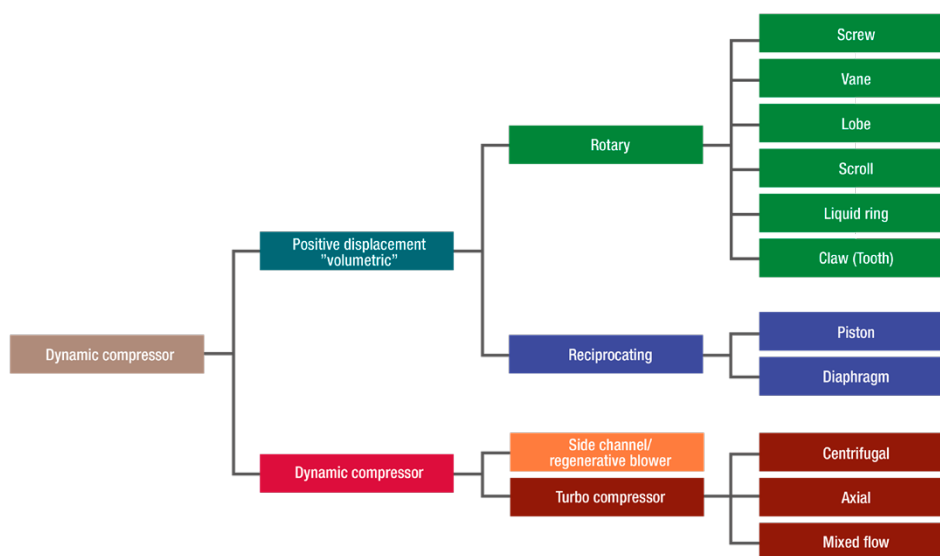
2.1 Kompressorer

Olika driftprincip

För att öka trycket i luft behövs mekaniskt arbete. Kompressorer brukar delas in i två kategorier baserat på sättet detta arbete tillförs: *deplacementkompressorer* och *dynamiska kompressorer*.

Deplacementskompressorer, där kolv-, skruv- och scrollkompressorer ingår, bygger på att luft sugas in i en kompressionskammare och trycks ihop (till exempel genom att en kolv rör sig uppåt), var vid trycket ökar till önskad nivå.

Dynamiska kompressorer å andra sidan tillför arbete genom att accelerera luften in i en diffusor, där luftens höga hastighet omvandlas till högt statiskt tryck. Exempel är radial- och axialturbokompressorer, som oftast används när ett högt luftflöde krävs.



Figur 1: Olika kompressortyper

Bild: Energimyndigheten

Speciellt när höga lufttryck behövs i ett system, sker kompressionen ofta i flera steg med mellankylning. Eftersom luftens temperatur stiger under kompressionen, och det är svårare att komprimera varm luft, leder mellankylning till minskat kompressionsarbetet jämfört med enstegskompression.

De vanligaste kompressorerna i industriella sammanhang är kolv-, skruv- och scrollkompressorer. I tabell 2 jämförs dessa kompressorer för-/nackdelar och användningsområden. Vid väldigt stora luftflöden används även turbokompressorer. Då dessa är mindre vanligt förekommande, hänvisas till referenslitteraturen för detaljer kring denna

kompressortyp. Många aspekter påverkar vilken kompressortyp som är optimal för en viss tillämpning, men luftflödets storlek har stor betydelse för valet. Även om det finns stora överlapp, kan kompressortypernas användningsområden rangordnas enligt följande, från mindre till större luftflöde: kolvkompressor <scrollkompressor <skruvkompressor <turbokompressor.

Tabell 1: Jämförelse mellan olika kompressortyper

	Kolvkompressor	Skruvkompressor	Scrollkompressor
Ungefärligt effektområde	1 till 11 kW	2 till 500 kW	2 till 22 kW
Ungefärligt kapacitetsområde [m ³ /min]	0,15–1,6	1–70	0,12–3,6
Fördelar	Lägre kostnader för inköp och underhåll. Enklare styrning	Högre verkningsgrad. Kan användas kontinuerligt. Mindre pulsation än kolvkompressor.	Hög effektivitetsnivå sett till volymen. Låg ljudbelastning.
Nackdelar	Kan inte användas kontinuerligt. Lägre verkningsgrad. Hög ljudbelastning. Genererar tryckimpulser under drift.	Högre inköpskostnader	Begränsad kapacitet. Hög initial kostnad. Kortare serviceintervaller på tätningar och scrolleheten.
Användningsområden	Intermittent bruk, låg förbrukning. Till exempel verkstäder	Högt, kontinuerligt tryckluftsbbehov ⁴ .	Områden med höga krav på luftkvalitet och ljudemissioner såsom forskning, livsmedelsindustrin eller tandläkarmottagningar
Värmeåtervinning	Luftburen	Luft- och/eller vattenburen	Luftburen

Oljefri eller oljesmord?

Inom klassiska industriella tillämpningar dominerar oljeinsprutade kompressorer. Oljan fyller flera funktioner: den hjälper till med tätningen så att tryckluften inte läcker ut, den kyler tryckluften och smörjer rörliga maskindelar. Eftersom tryckluften alltså är i nära kontakt med oljan kan den aldrig bli helt oljefri, även om filtrering och oljeavskiljning kraftigt kan reducera oljehalten innan användning.

I tillämpningar där inte ens små oljemängder kan tolereras kan oljefria kompressorer användas. Exempel är lackering, forskningsanläggningar, medicinteknik eller livsmedelsindustri. Om helt oljefri luft behövs, räcker det inte att köpa en oljefri kompressor – även omgivningensluft kan innehålla olja som kan följa med i processen. Det är därför viktigt att inte placera luftintaget i områden som hydraulrum. Även oljefria kompressorer kan dessutom använda olja utanför själva kompressionsprocessen, till exempel i växellådor. Tabellen nedan ger en överblick över olika för- och nackdelar.

⁴ För väldigt höga flöden används som tidigare nämnt turbokompressorer, som inte beskrivs i tabellen

Tabell 2: För- och nackdelar av oljefria respektive oljesmorda kompressorer

	Oljefri kompressor	Oljesmord kompressor
Fördelar	Kan leverera helt oljefri luft (klass 0 ⁵) Lägre underhållskostnad – inga byten av kompressorolja och oljefilter (dock kan oljebytten behövas för skruv- och turbokompressorers växellådor)	Högre arbetstryck på grund av bättre tätning Hög livslängd Lägre inköpskostnad
Nackdelar	Begränsat tryckområde Högre kostnad om kompressorn måste renoveras	Högre underhållskostnad Läckagerisk och miljöbelastning Effektområde begränsat till ca. 500-600kW

Kompressordimensionering

Dimensioneringen av ett tryckluftssystem börjar med att uppskatta det samlade tryckluftsbekovet, vilket kan göras med en enkel beräkningstabell. Om tryckluften används för olika ändamål, kan olika trycknivåer behöva tillhandahållas.

Förutom trycknivå och förbrukarnas luftbehov är även den genomsnittliga användningstiden av betydelse: om tryckluften bara behövs en kort stund åt gången och inte särskilt ofta, kan behovet täckas av en mindre kompressor med tillhörande ackumulatortank. Den totala luftförbrukningen fås sedan genom att multiplicera varje förbrukares luftbehov med den genomsnittliga användningen. Eftersom det ofta används olika enheter för luftförbrukningen kan en omräkning till den enheten kompressortillverkaren använder behövas. Följande tabell ger ett beräkningsexempel.

Tabell 3: Exempelvärden på tryckluftsförbrukning

Förbrukare	Antal	Arbetstryck	Luftbehov [l/min] ⁶	Genomsnittlig användning	Förbrukning [m ³ /min]
Renblåsningspistol, 1mm munstycke	10	6 bar	70	10%	0,07
Lackeringspistol, 1,5mm munstycke	2	4 bar	200	40%	0,164
Vinkelslip	4	6,2 bar	800	40%	1,28
Mutterdragare	5	6 bar	2000	20%	2
Bläster	3	6 bar	800	40%	0,96
Summa					4,47

⁵ Det finns olika system för att nå klass 0, till exempel avancerade filter eller katalysatorer. Risk- och kostnadsanalyser avgör i det enskilda fallet vilket system som ska väljas.

⁶ Ifall luftbehovet anges vid andra referensförhållanden måste flödet räknas om till m³_{FAD}, se kapitel 1

I exemplet ovan skulle alltså en kompressor med $4,47 \text{ m}^3_{\text{FAD}}/\text{min}$ kunna täcka behovet – dock är det både rimligt och brukligt att lägga till 10–20% för framtida utbyggnad av systemet, felberäkningar och läckage. För att kunna hålla trycket som förbrukaren med högsta trycknivå kräver (i exemplet vinkelslipen med 6,2 bar), måste systemtrycket väljas något högre för att beakta tryckfallet i ledningar, ventiler, filter och andra delar av systemet. Antar man att de summerade förluster kan hållas under 1 bar⁷ och lägger till ett tryckband på 0,5 bar för tryckregleringen kan en kompressor med ett luftflöde på $4,47 \times 1,2 = 5,36 \text{ m}^3_{\text{FAD}}/\text{min}$ och en trycknivå av $6,2 + 1 + 0,5 = 7,7$ bar väljas. En sådan specifikation kan uppfyllas av en skruvkompressor på ungefär 30kW. Som beskrivs i kapitel 3 ska överdimensionering av kompressorn undvikas – större är inte bättre i detta fall.

En fullständig dimensionering stannar inte här, utan måste även omfatta volymen av ackumulatortanken, torkarens typ och prestanda, kondensatmängden, filtrets tryckfall i nyskick och innan filterbyte samt dimensioneringen av värmeåtervinningen. Dessutom kan behovsprofilen vara mer komplicerad än att den kan beskrivas med ovan nämnda enkla metod och ett genomsnittligt användande. För att dimensionera ett helt system hänvisas därför till teknikleverantörerna samt deras säljpersonal och beräkningsverktyg.

Beroende på tryckluftbehovsprofilen kan det löna sig att bygga ett system med mer än en kompressor, framför allt om behovet över dygnet skiftar betydligt. I det fallet är det vanligt att blanda olika storlekar, kompressortyper och styrsystem för att komma så nära behovskurvan som möjligt.

Det är viktigt att enligt ovan välja en kompressor som med marginal kan täcka behovet – men att överdimensionera kompressorn är också problematiskt: kompressorer som är för stora för användningsfallet genomgår många starter följt av korta driftperioder. Detta orsakar onödigt höga energikostnader och kan också skada kompressorn i längden. Däremot kan det finnas tillämpningar som kräver viss redundans, till exempel kritiska produktionsprocesser eller sjukhus, som kan mötas med reservkompressorer.

2.2 Luftbehandling

Luftbehandling krävs för att ta bort föroreningar (partiklar, vatten och olja) från tryckluften. Det är viktigt både för att förhindra problem i själva tryckluftssystemet (till exempel rost eller bakterietillväxt) och för att uppfylla de stränga luftkvalitetskrav som finns i vissa branscher (till exempel livsmedelsindustri). I de flesta tryckluftssystem behandlas luften både genom filtrering och torkning.

Filter

Genom att luften får passera genom filter kan olika typer av föroreningar avlägsnas. En första filtrering görs med hjälp av filter i kompressorns luftintag, för att förhindra att smutsig luft kommer in i kompressorn. När luften lämnar kompressorn är luftvolymen mindre (eftersom luften tryckts ihop) vilket innebär att koncentrationen av föroreningar har ökat. Dessutom kan olja från kompressorn ha kommit in i luften. Därför krävs oftast filter även efter kompressorn.

⁷ Typiska maxgränser för tryckfall i olika tryckluftskomponenter är 0,2 bar för hela rörledningen fram till förbrukaren, 0,1–0,5 bar för filter och 0,1 bar för torkare

Valet av filter beror av vilka föroreningar som finns i intagsluften och vilka kvalitetskrav som ställs på tryckluften. Ofta krävs flera filter för att hantera de olika föroreningar som finns och nå rätt kvalitet. Generellt sett kommer mer filtrering dock leda till högre tryckfall och det är därför rekommenderat att inte filtrera luften mer än vad som är nödvändigt för det dimensionerande användningsfallet. I takt med att filtren används kommer de att sättas igen av föroreningar vilket också leder till tryckfall (kompressorn måste arbeta hårdare för att driva luften igenom ett igensatt filter). Det är därför viktigt att byta ut eller rengöra filtren regelbundet.

Torkar

All luft innehåller fukt. När luften komprimeras ökar fukthalten (eftersom luftvolymen minskar) vilket ökar risken för att kondens ska bildas i tryckluftssystemet och ansluten utrustning. Därför måste tryckluften torkas efter kompressorn, vilket ofta sker genom kylning. Kallare luft inte kan hålla lika mycket gasformigt vatten som varmare luft – överskottet fälls ut som kondensat vid kylning. I det enklaste fallet sker detta genom att vatten fälls ut i en ackumulatortank när luften i tanken långsamt kyls ner, vilket dock oftast inte genererar tillräckligt torr luft.

Efterkylare finns integrerade i de flesta kompressorer och bidrar till att torka luften genom aktiv kylning med omgivningsluft eller kylvatten. En rätt dimensionerad efterkylare kan redan ta hand om den mesta kondensen i tryckluften, samtidigt som tryckförlusten är förhållandevis låg.

Ett mycket vanligt sätt att torka luften vidare är att kyla den i en s.k. **kyltork** tills en del av vattenångan i luften kondenserar, och sedan samla upp vattnet som bildas. Då kondenserar vattnet på ett kontrollerat sätt i torken och inte längre ut i tryckluftssystemet. Om tryckluften innehåller olja kommer även det kondenserade vattnet innehålla olja. Kondensatet kan i så fall behöva renas i en **oljeavskiljare** innan det släpps ut till avloppet.

En annan vanlig typ av tork är **adsorptionstorkar**. Dessa kan producera betydligt torrare luft än kyltorkar och efterkylare. Ofta kombineras de olika torktyperna så att luften först torkas genom kylning och därefter i adsorptionstork. En adsorptionstork fungerar genom att luften passerar genom ett torkmedel som adsorberar ("suger upp") vatten ur luften. Efter en tids användning blir torkmedlet mättat av vatten och kan inte adsorbere mer. Torkmedlet måste då "regenereras" vilket innebär att vattnet avlägsnas från torkmedlet. För att torken hela tiden ska kunna användas brukar adsorptionstorkar innehålla två parallella behållare med torkmedel, så att den ena kan regenereras medan den andra används för torkning.

Dimsmörjare

En dimsmörjare kan användas för att kontinuerligt smörja tryckluftsverktyg under drift ifall tryckluftssystemet i sig är oljefritt. Tryckluften som passerar dimsmörjaren förses med sig en oljedimma som smörjer verktyget. Dimsmörjare kan kombineras med filter och tryckregulator i en så kallad FRL-enhet, se Figur 2.

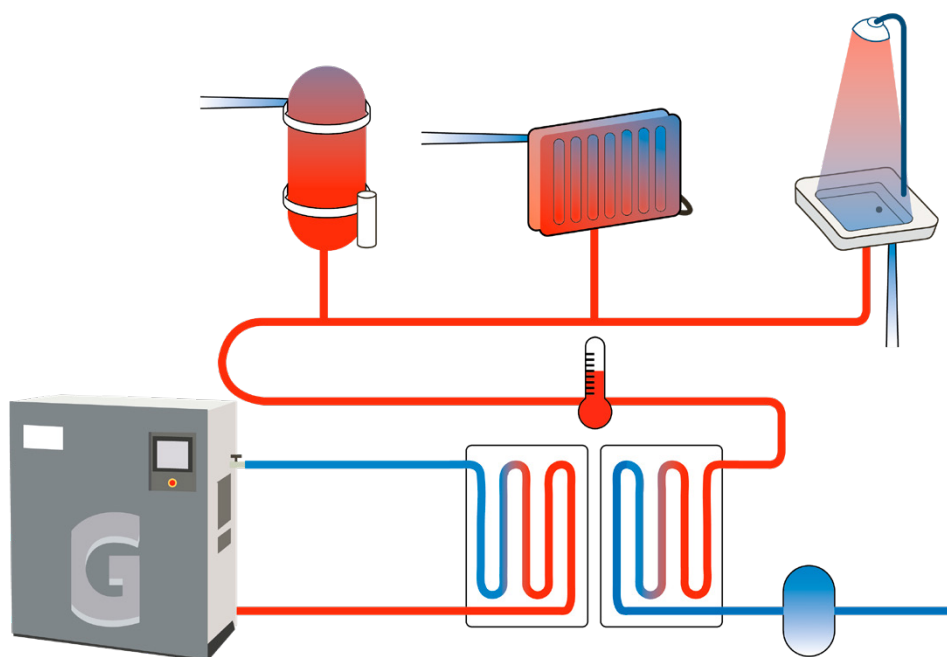


Figur 2: FRL-enhet (filter, regulator, smörjenhet)

Bild: Energimyndigheten

2.3 Kylning och värmeåtervinning

När luft komprimeras värms den upp av det arbete som kompressorn uträttar och ju varmare luften blir, desto svårare blir den att komprimera ytterligare. Det är därför vanligt med flerstegskompressorer, där luften kyles i en värmeväxlare (mellankylare) mellan varje kompressorsteg. Detta ökar verkningsgraden betydligt men ger också ett mer komplicerat system med fler komponenter. Det är också mycket vanligt att luften kyles i efterkylare när den lämnar kompressorn. Många lite större kompressorer har system för värmeåtervinning, dvs system som gör det möjligt att använda den värme som kyles bort för att exempelvis värma ett tappvattensystem eller förvärma vattnet till en ång- eller hetvattenpanna. I oljeinsprutade skruvkompressorer tar oljan upp den mesta spillvärmens och måste därför kylas, oavsett om kompressorn i sig är vatten- eller luftkyld. Detta kan göras i en olja-vatten-värmeväxlare där det uppvärmda vattnet kan användas enligt ovan.



Figur 3: Exempel, värmeåtervinning.

Bild: Energimyndigheten

2.4 Styrssystem

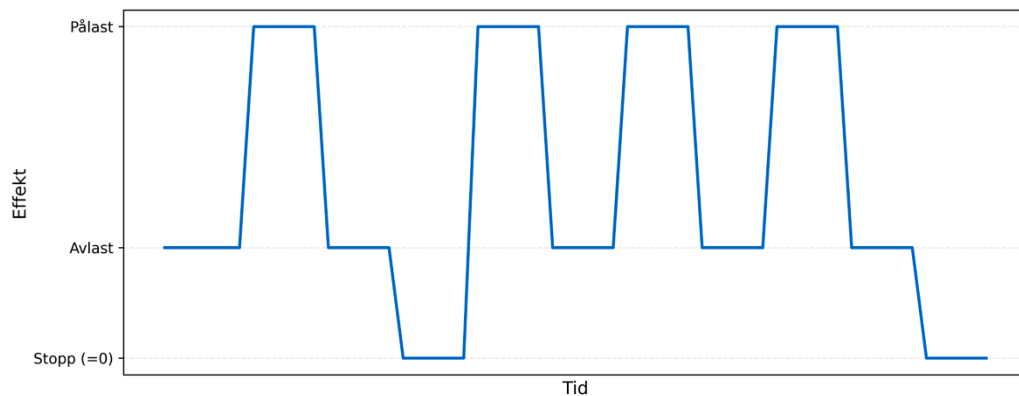
Styrsystemets viktigaste uppgift är att hålla rätt tryck i tryckluftssystemet. Detta görs genom att mäta trycket i systemet och reglera mängden tryckluft som produceras av kompressorerna. Det finns två huvudsakliga varianter av styrning:

- **Pålast-avlast-stopp:** Om trycket i systemet stiger över ett förutbestämt övre värde kopplas kompressorn ifrån och går på tomgång eftersom elmotorn i större kompressorer inte ska startas oftare än 5–15 gånger per timme beroende på storleken. När trycket sjunker under ett förutbestämt undre värde kopplas kompressorn på igen. Effektbehov vid avlastad drift är cirka 20–40 procent av effekten vid pålastad drift. När kompressorn går avlastad så produceras ingen luft, den tillförda energin går inte till någon praktisk nytta mer än att hålla kompressorn i stand by-läge. Området mellan båda värdena kallas för *tryckband*. Vid lågt tryckluftsbbehov under en längre tid kan kompressorn stoppas helt genom att motorn stängs av.

Det finns flera olika metoder att koppla ifrån kompressorn. Exempelvis kan en avlastningsventil efter kompressorn (men innan lufttanken) öppnas vid högt tryck så att kompressorn friblåser. Det går också att koppla ifrån kompressorn genom att stänga inloppsventilen.

Att hela tiden växla mellan av- och pålast sliter på kompressorn och motorn. Därför ska tryckbandet inte vara för litet. Vanligen används ett tryckband på ca 0,5–1 bar.

En variant av denna styrning är start-stopp-styrning. Då går kompressorn aldrig på tomgång utan kopplas till och från genom att motorn sätts på eller stängs av.



Figur 4: EXEMPELBILD: kompressoreffekt över tid i en pålast-avlast-stopp-styrning

Bild: Genererad med AI-verktyg

- **Varvtalsstyrning:** Mängden tryckluft som produceras styrs genom att anpassa varvtalet på kompressorns motor. Denna styrning gör det möjligt att mycket exakt styra trycket i systemet och anpassa tryckluftsflödet efter behov. Varvtalsstyrning ger även hög energieffektivitet. En nackdel är högre investeringskostnader.

2.5 Rörsystem

Tryckluften distribueras till användarna genom rörsystem. Större rördiameter ger mindre tryck- och energiförluster i systemet. Vanligen distribueras luften genom en **ringledning** som omsluter området där tryckluft används och matas av kompressorn/kompressorerna från båda hållen. Genom att ledningen matas från båda hållen fås en jämn trycknivå i systemet, även för användare som ligger långt från kompressorn. Från ringledningen går mindre ledningar till systemets tryckluftsanvändare.

Om ingen central torkare installeras (ett så kallat vått system) kondenserar en del av fukten i tryckluftstanken, men den utgående tryckluften innehåller även restfukt som kondenserar i rörledningen. Därför måste rörledningen anpassas, t ex genom en lutning i strömningsriktningen, svanhalsar på uttag från centralledningen, vattenavskiljare på ställen där kondens kan samlas och användning av icke-rostande rörmaterial såsom aluminium eller rostfritt stål. Våta rörsystem är därför mer komplicerade, medför fler anslutningspunkter och därmed högre läckagerisk samt är mer krävande gällande underhåll och service.

3 Energieffektiva tryckluftssystem

Ur ett ekonomiskt perspektiv är den bästa tryckluften alltid den som inte måste produceras. Den största nyttan har man därför av åtgärder som optimerar energiåtgången i systemet genom att sänka behovet, framför allt eliminering av läckage. I detta kapitel ges förslag på möjliga optimeringsåtgärder.

3.1 Allmänna råd

- Det är viktigt att ta optimeringssteg i rätt ordning! Till exempel ska läcksökning eller behovssänkande åtgärder alltid göras *innan* ny utrustning köps in, så att denna kan dimensioneras för att passa den optimerade framtida driftsituationen.
- Överskatta inte inflytandet av inköpskostnaden! Den största delen av livscykelkostnaden finns i energin för att producera tryckluft. Inköpet av kompressorn kan vara så låg som 6–8% av den totala livscykelkostnaden⁸. Det är därför mycket viktigare att välja rätt kompressor än att välja den billigaste.
- Systemperspektivet spelar stor roll! I större tryckluftssystem med värmeåtervinning kan systemeffektiviseringar till exempel leda till att mindre spillvärme till processer eller uppvärmning produceras och måste täckas ur andra källor, vilket påverkar lönsamheten.
- Välj rätt luftkvalitet! Filtrering och torkning kräver energi genom tryckfall och aktiv kylning, dessutom ökar systemets komplexitet, vilket betyder mer underhåll och fler felkällor. Samtidigt säkras hög luftkvalitet tryckluftsverktygs tillgänglighet, ökar deras livslängd och gör systemet mer tillförlitligt. Det är därför viktigt att hitta en bra kompromiss mellan tryckluftens kvalitet och dess kostnad och energiförbrukning över livscykeln.
- Kylningen av kompressorn måste vara rätt dimensionerad – hög temperatur och undertryck i kompressorummet är varningstecken att agera på. Kompressorummet ska inte heller användas som förråd då detta försvårar både luftflöde och underhåll.

3.2 Läckage och tryckfall

Åtgärda läckage: den största potentialen i många tryckluftssystem

Läckage uppträder i alla tryckluftssystem, men dåligt planerade och underhållna system når ofta en läckageandel på 50% - hälften av alla kompressorer och all förbrukad el till kompressorerna skulle i ett sådant system alltså kunna sparas in. Läcksökning är åtgärden med högst lönsamhet när det gäller optimering av ett tryckluftssystem. En studie på EU-nivå⁹ visade för över 20 år sedan att läckagehantering står för över 40% av besparingspotentialen, med driftoptimering (runt 25%) på andra plats före motorstyrning, systemdesign och värmeåtervinning (alla runt 10%). Lite talar för att denna fördelning har ändrats sedan dess.

⁸ Ecodesign Preparatory Study on electric motor systems/Compressors ENER Lot 31

⁹ Compressed Air Systems in the EU, Peter Radgen

Ett tryckluftssystem kan börja läcka på många ställen: ventiler, skruv- och flänsförbindelser, svetsfogar, kopplingar, slangar, torkar, filter och alla andra trycksatta element är potentiellt drabbade genom felinstallation, bristande underhåll, åldersrelaterat slitage eller korrosion. Läcksökning i tryckluftssystem kräver därför kontinuerliga insatser, helst som integrerad del av underhållet som ingår i arbetet med energiledningssystem där sådana används. Eftersom en tryckluftsläcka inte lämnar lika lättsynliga spår som andra medier som vatten eller olja, och eftersom tryckluftsläckan ofta inte innebär en direkt säkerhetsrisk, är läcksökningen ändå ofta lågt prioriterad. Även företags rädsla att behöva stanna produktionen kan spela in här. Från en energieffektivitetssynpunkt är detta olyckligt: redan förhållandevis små läckor leder över tid till märkbara förluster eftersom kompressorn måste producera mer tryckluft än vad som skulle vara nödvändigt utan läckor. Tabellen nedan visar ett samband mellan diametern på ett hål i en tryckluftsledning och de resulterande läckageförlusterna.

Tabell 4: Beräknad elförbrukning för olika läckage

Läckage-diameter [mm]	Läckageflöde vid 8 bar [l/min]	Effektbehov kompressor [kW]	Läckage per år vid 8000 drifttimmar [m ³]	Energiförbrukning per år [kWh]
1	75	0,6	36 000	4 800
2	260	2	124 800	16 000
3	600	4,4	288 000	35 200
4	1100	8,8	528 000	70 400
5	1700	13,2	816 000	105 600

Läckageflödet växer alltså inte linjärt med hålets diameter, utan ungefär kvadratisk. Större läckage kostar snabbt stora mängder energi och därmed pengar. Ett läckage på 5 mm – vilket är mindre än en vanlig blyertspenna – kräver över 13 kW konstant kompressoreffekt vid 8 bar systemtryck, vilket motsvarar över 100 MWh energiförbrukning per år.

En snabb läcksökning på ett litet system kan utföras med enkla medel som tvållösning som stryks på rör och kopplingar – läckande luft orsakar då bubblor. För att göra en fullständig bedömning används dock i regel mätutrustning baserad på ultraljudsdetektion som funkar bra i bullriga miljöer och ofta även kan visa läckområdet på en kamerabild för enkel lokalisering. Nyare ultraljudsmätare kan inte bara lokalisera, utan även kvantifiera läckagets storlek inom vissa gränser. Detta kan hjälpa att rangordna läckage och att åtgärda dem i tur och ordning efter sin potentiella besparing.



Figur 5: Ultraljudsmätare för läcksökning

Bild: Adobe Stock

Ett vanligt sätt att genomföra en läcksökning är vid produktionsstopp eftersom påverkan på verksamheten anses mindre då. Även om det är en bra början rekommenderas alltid att också läcksöka vid pågående produktion eftersom många förbrukare kan ha automatiska avstängningsventiler som kan maskera interna läckor annars.

När hittade läckor åtgärdas är det vanligt att tryckluftsförbrukningen först inte minskar. Detta beror på det högre trycket som ställer in sig längre bort i systemet när de första läckorna åtgärdats, och som i sig kan uppdaga nya läckor. Även flödet genom enklare tryckregulatorer stiger vid högre matningstryck och måste regleras. Först därefter kommer läcksökningens besparing kunna visa sig fullt ut.

Att reparera läckor leder inte bara till direkt energibesparing för att mindre tryckluft måste produceras – även underhållskostnader kan sänkas eftersom kompressorn, filtren och torkare får kortare gångtider. Återbetalningstiden för läcksökningsåtgärder är därför ofta mycket kort. Att helt eliminera läckage är dock mycket svårt och en tumregel är att även ett väl underhållet system har ca 5–10% läckage.

Förebygga tryckfall

Ju större tryckfall som finns i systemet, desto mer måste kompressorn jobba för att upprätthålla trycket. Det är därför viktigt att undvika långa slangledningar (som även utgör en läckagerisk) och att vara noga i dimensioneringen av serviser, kopplingar och armaturer. Större rördiameter sänker tryckfallet och borde väljas där det är möjligt. Tryckfallet som orsakas av torkar och filter kan minimeras genom regelbundet underhåll och ändamålsenliga krav på fukthalt och renhet.

3.3 Driftoptimeringar

Lägre systemtryck

Om möjligt bör systemtrycket sänkas: varje bar sänkt tryck motsvarar ungefär 7% i energibesparing. Det är därför viktigt att noga analysera det lägsta nödvändiga systemtrycket, se kapitel 2.1. Om det finns många ställen där trycket regleras ner innan förbrukaren är detta en indikation att systemtrycket kan vara för högt. Eftersom lägre systemtryck medför lägre läckage lönar sig denna åtgärd dubbelt. Om en behovsanalys visar att systemtrycket kan sänkas rekommenderas att göra detta i små steg (till exempel 0,1 bar per vecka), vilket ger tillräckligt med tid att upptäcka när en rimlig nivå är nådd.

Lägre inflödestemperatur

Som beskrivs i kapitel 1 kräver kall luft mindre energi för att komprimeras än varm luft. Luftintaget ska därför placeras på rätt ställe, gärna nordsidan av en byggnad där direkt solinstrålning inte värmer upp omgivningsluften för starkt

Avstängning av kompressorer

Om produktionsmönstret tillåter är det viktigt att stänga av tryckluftproduktionen när inget behov finns. Det kan löna sig att se över sina processer och försöka att identifiera tider när man klarar sig helt utan tryckluft.

Överväga alternativt till tryckluft

Som beskrivs i kapitel 4 är tryckluft inte alltid den bästa energibäraren: där det är möjligt bör därför alternativ till tryckluftsdrivna verktyg, renblåsning och kylning med tryckluft övervägas. Individuella tryckluftsuttag ska kunna kopplas bort med egna avstängningsventiler.

Håll inte hela systemet trycksatt

Ofta hålls hela systemet trycksatt även under tider då behovet är minimalt, t ex vid produktionsstopp, eftersom vissa stöd- eller säkerhetsfunktioner fortfarande kan kräva tryckluft. I sådana fall är det viktigt att gå igenom och avskilja delsystem som kräver avbrottsfri tryckluftsförsörjning från huvudsystemet så att dessa kan hållas trycksatta respektive trycklösa oberoende av varandra.

3.4 Uppgraderad utrustning

Varvtalsstyrning

Att ersätta på- och avlaststyrning för en kompressor med varvtalsstyrning möjliggör att köra kompressorn längre perioder i stället för att behöva låta kompressorn gå avlastad, vilket är bra för både energiförbrukningen och kompressorns livslängd. Om kompressorn däremot ofta arbetar med fullast är det svårare att tjäna in den högre investeringskostnaden för varvtalsstyrning. Vid större kompressorläggningar är det därför vanligt att en eller flera varvtalsstyrda kompressorer tar topplaster, medan baslasten täcks av konventionellt styrda kompressorer.

Effektivare kompressorer och motorer i rätt dimension

Gamla kompressorer och elektromotorer uppnår inte samma energieffektivitet som nyare. Även om det kan kännas fel att byta ut fungerande hårdvara kan det vara rätt åtgärd att uppgradera till nyare utrustning, framför allt om en detaljerad analys visar att tryckluftssystemet är feldimensionerat.

Större ackumulatortankar

Att använda väl tilltagna ackumulatortankar kan möjliggöra en mer effektiv drift eftersom man potentiellt kan använda en mindre kompressor. Detta bygger på att luftbehovet varierar betydligt, till exempel vid användning av tryckluftswerktyg. En annan fördel är att tankar kan bidra till ett jämnare luftflöde genom filter och torkar i systemet. En stor tank möjliggör (precis som en varvtalsstyrd kompressor) även ett smalare tryckband.

Den potentiella nyttan av en större tank måste vägas mot några nackdelar, framför allt att mer luft måste komprimeras till det högre trycket i tryckbandet och att en större tank innebär en högre investeringskostnad.

Användning av spillvärme

Som nämns i kapitel 1 blir luft varm när den komprimeras, och utan värmeåtervinning går denna värme till spillo. En enkel åtgärd kan vara att placera kompressorn i ett utrymme som behöver värmas upp, och där buller från kompressorn inte stör. Större kompressorer är ofta vattenkylda, vilket underlättar värmeåtervinningen. Kylvattnet kan nå temperaturer på 70–90 °C beroende på om kompressorn är oljesmord eller oljefri och kan användas för uppvärmning av tappvatten, rumsvärme eller i produktionsprocesser som kräver låggradig värme. Ungefär 50–60% av värmen återvinns i ett typiskt vattenkyllt system. Trots detta är det såklart bättre att dimensionera tryckluftssystemet så bra och energisnålt som möjligt – en kWh värme är alltid mindre värdefull än en kWh el.

Anpassning av förbrukare

I många slutanvändningar och produktionsprocesser kan tryckluft användas på ett smartare sätt genom att välja rätt verktyg. Ett exempel är att ersätta enkla renblåsningspistoler med mer effektiva dito eller munstycken med luftknivar.

Bättre kopplingar och ledningar

Där det är möjligt ska snabbkopplingar undvikas – bara om det finns en verklig chans att en koppling måste lossas då och då ska de användas eftersom de bär med sig en läckagerisk. Ett vanligt misstag är att använda slangklämmor som inte är godkända för tryckluftsbbruk. Dessa ska inte användas alls för kopplingar i tryckluftssystem och bör ersättas så snabbt som möjligt.

3.5 Digitalisering, mätning och organisation

För att erhålla ett så energieffektivt tryckluftssystem som möjligt är det inte tillräckligt att välja rätt komponenter, genomföra läcksökningar, välja genomtänkta driftparametrar och minimera tryckluftbehovet; för att nå optimal energetisk och ekonomisk prestanda måste ett industriellt tryckluftssystem övervakas konstant. Framstegen som har gjorts inom insamling och bearbetning av data med hjälp av digital teknik de gångna åren och årtionden underlättar denna uppgift avsevärt: först genom att mäta och arbeta med mätdata kan ett företag definiera relevanta nyckeltal att bedöma tryckluftssystemets prestanda emot och sedan följa upp dessa. Sådana nyckeltal kan omfatta specifik elförbrukning per m³ producerad tryckluft, läckageandelen eller energi- och underhållskostnader.

Organisation

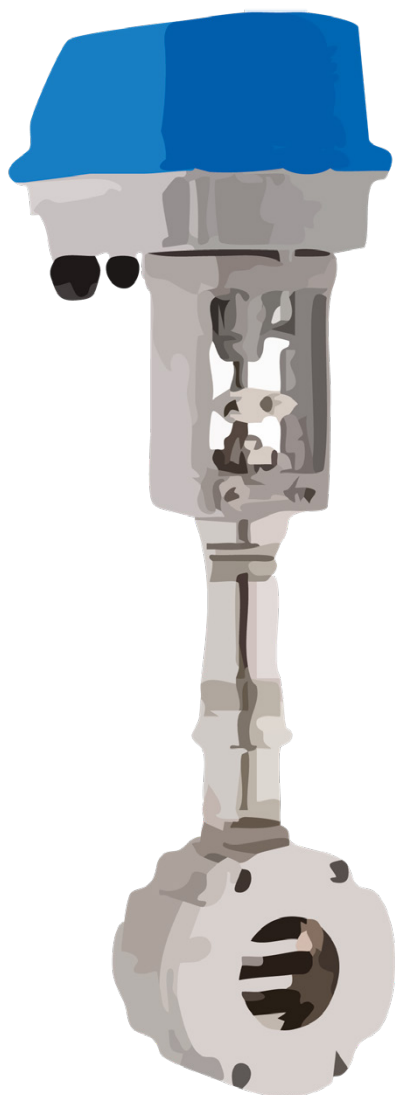
Organisatoriskt innebär detta att ansvaret för underhåll och övervakning av tryckluftssystemet måste vara tydligt tilldelat. Även om rollen som tryckluftsansvarig redan finns i ett industriföretag, är arbetsuppgiften än så länge ofta bara att säkerställa en avbrottsfri tryckluftleverans snarare än att också ta ansvar för energieffektiviteten i systemet.

Även utbildning spelar en viktig roll: kompetensen i tryckluftsproduktion koncentreras ofta på produktionssidan, men det är lika viktigt att träna slutanvändare i hur tryckluftförbrukningen kan reduceras på ett smart sätt.

Den verkliga kostnaden för tryckluften underskattas ofta. En möjlighet att synliggöra denna annars ofta dolda kostnaden är att internfakturera tryckluftsproduktionen i företaget och på så sätt skapa motivation för alla användare att minimera sin tryckluftförbrukning.

Mätning och digitalisering

Bara det som mäts kan övervakas och optimeras. Det är därför viktigt att placera ut flödes- och trycksensorer på strategiska platser i systemet (bäst efter filtreringen för att förhindra för högt kompressionstryck) och att mäta med en tillräckligt hög samplingsfrekvens. Användningen av avstängningsventiler gör det enklare att dela upp systemet i flera delar som kan analyseras och läcksökas var för sig.



Figur 6: Exempel på Tryck-/flödesregulator

Bild: Energimyndigheten

Ett överordnat styrsystem som matas med driftdata i tillräckligt hög kvalitet kan sedan i större tryckluftssystem användas för att optimera driften av kompressorparken genom att välja antal och typ av kompressorer som ska gå samtidigt för att täcka behovet vid maximal effektivitet. Även rapporteringskrav är lättare att uppfylla med ett digitaliserat system. Som i alla tillämpningar där stora mängder data samlas in är datasäkerhet viktigt. Detta gäller framför allt när systemet inte bara är övervakande, utan även ger möjlighet till processtyrning.

På senaste tiden har lösningar baserade på artificiell intelligens (AI) börjat dyka upp på marknaden i större utsträckning och i användningar från driftoptimering, dataanalys och läcksökning till prediktivt underhåll. Även utbildningsplattformar och felsökningsverktyg kan profitera av AI. Användningen av stora datamängder för att träna AI-modeller kommer med största sannolikhet bli en viktig komponent i industrin framöver. Vid skrivandet av denna vägledning är denna utveckling fortfarande i sin linda, och snarare än att i detalj beskriva alla möjligheter AI har att erbjuda, uppmuntras läsaren att hålla sig själv uppdaterad gällande denna trend.

4 Lagkrav/ ekodesigndirektiv/ tryckluftsklasser

Tryckluftssystem omfattas av en mängd lagar och standarder. Många av dessa rör främst tillverkare av system och komponenter och är av mindre betydelse för den som köper eller använder ett tryckluftssystem.

En översikt över gällande regelverk och standarder ges av den europeiska branschorganisation Pneuop¹⁰. Översikten täcker in områdena kompressorer, verktyg, vakuumteknik, tryckutrustning, luftrening, processkompressorer och ekodesign.

För den som ska använda tryckluft i en tillämpning där tryckluften måste uppfylla särskilda renhetskrav är det viktigt att vara bekant med standarder för tryckluftskvalitet. Den internationella standarden **ISO 8573-1:2010** delar in tryckluft i olika renhetsklasser efter innehållet av olja, vatten och partiklar. En lägre renhetsklass innebär renare luft. Det är viktigt att kompressorsystemet (kompressor och utrustning för luftrening) kan leverera den renhetsklass som krävs i den tänkta tillämpningen. Eftersom det är dyrt och energikrävande att rena luft är det dock onödigt att välja ett system som levererar mycket renare luft än tillämpningen kräver, och det är vanligt att olika luftkvaliteter förekommer i samma företag, till exempel för instrumentluft och allmän arbetsluft. De olika renhetsklasserna visas i tabellen nedan.

Ett kompressorsystem kan leverera tryckluft som uppfyller olika renhetsklasser för olika typer av föroreningar. Tryckluftens renhetsklassning enligt **ISO 8573-1:2010** specificeras med tre siffror på formatet **X.Y.Z**, där X, Y och Z är renhetsklasserna avseende – i tur och ordning – partiklar, vatten och olja. Ett system som kan leverera luft enligt ISO 8573-1:2010 **6.2.1** kan alltså leverera luft med $\leq 5 \text{ mg/m}^3$ partiklar, tryckdaggpunkt $\leq -40 \text{ °C}$ och högst $0,01 \text{ mg/m}^3$ olja (se tabellen nedan). Kom ihåg att renheten på levererad tryckluft inte bara påverkas av kompressorsystemet utan också av rörledningar och andra komponenter nedströms kompressorn.

¹⁰ The committees of Pneuop: <https://pneuop.eu/en/committees/>

Tabell 5: Tryckluftskvalitet enligt ISO 8573-1:2010

Renhets- klass	Partiklar Antal partiklar per m ³				Vatten		Olja
	0,1-0,5 mikrometer	0,5-1 mikrometer	1-5 mikrometer	Partikel- koncentration (mg/m ³)	Tryck- daggpunkt	Vätska (g/m ³)	(total oljemängd: aerosol, vätska och ånga) mg/m ³ "
0	Bättre än klass 1				Bättre än klass 1		Bättre än klass 1
1	≤ 20 000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400 000	≤ 6 000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90 000	≤ 1 000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10 000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100 000	-	≤ +7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5-10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5-5	-
9	-	-	-	-	-	5-10	-
X	-	-	-	>10	-	>10	>10

ISO-standarden **8573-1:2010** är relevant för klassning av tryckluftskvalitet i de flesta tekniska sammanhang.

Om tryckluften ska användas i andningsskydd är det i stället standarden **EN 12021:2014** som ställer krav på luftkvaliteten. Denna gäller dock inte medicinsk utrustning. I medicinska sammanhang finns en rad standarder som tryckluftssystem måste uppfylla, bland andra: **ISO 7396-1** (krav på rörsystem för medicinska gaser i sjukhusmiljö), **ISO 14791** (system för riskhantering för medicinska produkter) och **ISO 13485:2016** (krav på kvalitetsledningssystem för organisationer verksamma i en medicinteknisk produkts livscykel, vilket inkluderar tillverkare av kompressorer för medicinskt bruk).

Till skillnad från andra liknande maskiner eller system (exempelvis pumpar, fläktar och luftkonditionering) omfattas kompressorer och tryckluftssystem inte av EU-regelverket ”**Ekodesigndirektivet**” som ställer krav på energiprestanda. Energikostnader är dock en betydande del av totalkostnaden för tryckluftproduktion och bör beaktas vid val av kompressor och andra komponenter. Elmotorer omfattas av **Ekodesigndirektivet** och delas in i olika effektivitetsklasser från IE1 till IE5, där IE5 är bäst. Elmotorer som är helt integrerade i en produkt, exempelvis en kompressor, omfattas egentligen inte av **Ekodesigndirektivet** så kompressortillverkare måste inte ange vilken effektivitetsklass motorn har, men många tillverkare väljer ändå att göra det.

Många kompressorer är utrustade med kyltorkar som använder så kallade ”f-gaser” som köldmedium. Dessa är starka växthusgaser och för att förhindra utsläpp av f-gaser finns ett särskilt EU-regelverk, den så kallade f-gasförordningen. Förordningen ställer bland annat krav på regelbunden läcksökning och på certifiering av personer som ska arbeta med installation eller underhåll av produkter och utrustningar som innehåller f-gas. I förordningen finns också listor med produkter och utrustningar som är förbjudna eller

kommer förbjudas om de innehåller eller är beroende av vissa typer av f-gaser. Mer information ges av Kemikalieinspektionen¹¹ och Naturvårdsverket¹².

Slutligen är Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om arbetsutrustning och personlig skyddsutrustning (**AFS 2023:11**) relevanta för tryckluftssystem. Kapitel 9-10 innehåller bestämmelser kring användning av trycksatta anordningar på en arbetsplats och det är arbetsgivaren som är ansvarig för att bestämmelserna följs.

¹¹ ”Fluorerade växthusgaser”. <https://www.kemi.se/lagar-och-regler/lagstiftningar-inom-kemikalieomradet/eu-gemensam-lagstiftning/fluorerade-vaxthusgaser>

¹² ”Vägledning – Fluorerade växthusgaser”. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/kemikalier/fluorerade-vaxthusgaser/>

Referenser

P. Radgen, E. Blaustein: *Compressed air systems in the European Union. Energy, emissions, savings potential and policy actions*. Fraunhofer-Gesellschaft, Stuttgart (Tyskland), 2001

Atlas Copco Compressed Air Manual 9th edition Atlas Copco Airpower NV, Wilrijk (Belgien), 2019

Tryckluftsteknik - Grunder och tips. Kaeser Kompressor AB, Täby, 2023

P. Thollander, M. Karlsson, P. Rohdin, J. Rosenqvist: *Energieffektivisering – Energikartläggning, energiledning och styrmedel*. Studentlitteratur AB, Lund, 2019

H. Alvarez: *Energiteknik – Del 2*. Studentlitteratur AB, Lund, 2006

M. v. Elburg, R. v. d. Boorn: *Ecodesign Preparatory Study on Electric motor systems/ Compressors - ENER Lot 31 - FINAL Report of Task 1, 2, 3, 4, & 5*. Holsteijn en Kemna B.V., Bryssel (Belgien), 2014

Hållbar energi för alla

Energimyndighetens uppdrag är att förena ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet i energisystem, som är hållbara och kostnadseffektiva med en låg påverkan på hälsa, miljö och klimat.

Vi bidrar med fakta, kunskap och analyser om tillförsel och användning av energi i samhället, och arbetar för en trygg energiförsörjning.

Forskning om framtidens energisystem och teknik får stöd av oss. Vi stöttar också affärsutveckling som gör det möjligt att kommersialisera innovationer och ny teknik, och ser till att goda lösningar kan exporteras.

Vi ansvarar för Sveriges officiella statistik på energiområdet, och hanterar stödsystem så som elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter. Dessutom deltar vi i internationella klimatsamarbeten, och förmedlar fakta om effektivare energianvändning till hushåll, företag och myndigheter.

Energimyndigheten är också beredskapsmyndighet och sektorsansvarig myndighet inom energiområdet.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna

Telefon 016-544 20 00

E-post registrator@energimyndigheten.se

energimyndigheten.se