

Krav på tryckluftssystem

För lägre kostnader, ökad
energieffektivitet och
förbättrad driftsäkerhet



Förord

När du handlar upp ett nytt tryckluftssystem har du en unik möjlighet att påverka energiförbrukningen under alla de år som utrustningen kommer att vara i drift. Du kan uppnå både god funktion och långsiktigt gynnsam ekonomi genom att välja en energieffektiv lösning.

Denna skrift är en omarbetad version av de krav för tryckluft som publicerades av Energimyndigheten 1999. Kraven kan användas vid upphandling av hela eller delar av ett tryckluftssystem inom industrin. De hjälper dig att uppnå hög energieffektivitet i alla tryckluftssystem. Kraven kan även användas vid upprättande av lång- och kort-siktiga driftstrategier, framför allt vid driftförändringar.

Inledningsvis behandlas de grundfrågor du bör ställa dig när du står i begrepp att handla upp delar av eller ett helt nytt tryckluftssystem. Det är viktigt att välja en genomtänkt systemlösning och att kompressordriften kan anpassas efter ett behov som kan förändras med tiden.

Ett viktigt instrument i en upphandling är beräkning av livscykelkostnaderna (LCC). I en LCC-kalkyl summeras investeringskostnaderna för en utrustning med beräknat nuvärde av energi- och underhållskostnaderna under utrustningens hela livslängd. Med en LCC-kalkyl får du en säkrare uppfattning om den kompletta kostnadsbilden när du jämför offerter, än genom att bara se på angiven investeringskostnad.

Området tryckluftssystem är uppdelat på tre grupper:

- Användning – förbrukare i form av maskiner som nyttjar tryckluft för att utföra ett nyttigt arbete.
- Distribution – ledningsnät med fyra huvuddelar: stam-, distributions- och serviceledning samt tryckluftsarmatur.
- Produktion – kompressor av displacementstyp och därtill hörande luftbehandlingsutrustning.

Vid upphandling av tryckluftssystem så kan kapitlet "Kravspecifikation" användas i arbetet med att utforma en offertförfrågan för alla tre grupperna.

För en mer grundläggande studie av hur tryckluftssystem fungerar så rekommenderas till exempel Atlas Copcos tryckluftshandbok, se referens 5.

Kraven har tagits fram:

Rune Hardell, EnerGia
Lars Johansson, EC-Power
Arne Ponténus, Electrolux AB
Marie Rådman, Energirådgivningen
i Mariestad och Töreboda
Lars Sjögren, EkoPerspektiv
Ragnar Uppström, Energirådgivningen
i Måndals stad

Tack till Atlas Copco för bra synpunkter.



Innehåll

Driften betydligt dyrare än investeringen	4
Nulägesanalys	8
Strategi för att bygga kompressorcentral	10
Välj med hjälp av LCC-kalkyl	12
Kravspecifikation	15
Alternativ teknik	18
Referenser	19

Driften betydligt dyrare än investeringen

Behoven varierar

En mängd olika faktorer kan förändras och påverka driftsförhållandena när det gäller tryckluftproduktion:

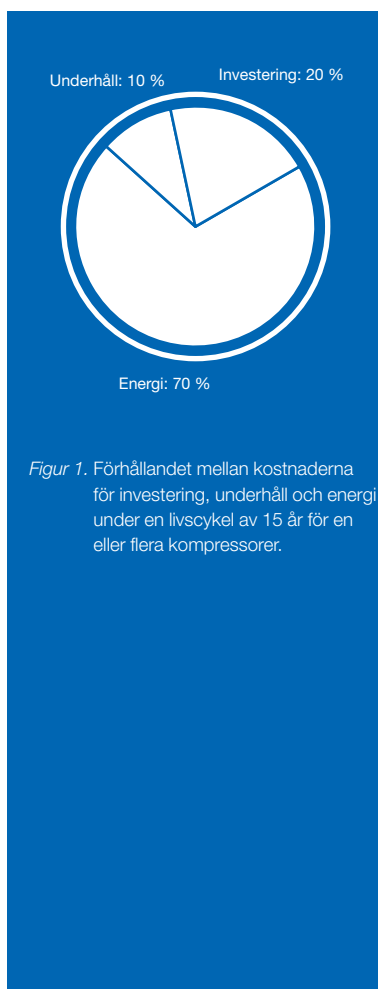
- Produktionstid – till exempel övergång från 1-skift till 2-skift.
- Uttagsmönster – vissa produktionsavsnitt går för fullt på nya tider, schemalagda raster ändras etc.
- Flödesbehov – stora tryckluftsförbrukare byts ut eller renoveras.
- Kvalitetsbehov – krav på tryckluftskvaliteten kan variera från avdelning till avdelning. Nya tryckluftswerktyg kan ställa andra krav på tryckluftskvalitet.

Alla dessa faktorer påverkar hur effektivt tryckluftssystemet och kompressorerna utnyttjas, det vill säga hur mycket av den tillförda energin till kompressor-anläggningen som kommer produktionen till godo.

Energi

Den svenska industrin använder 3 procent av den totala elenergin till tryckluftproduktion, det motsvarar cirka 1,7 TWh. 8 procent av verkstadsindustrins totala elenergi går till produktion av tryckluft, cirka 0,6 TWh.

Merparten av den totala kostnaden för tryckluftproduktion under en 15 års-period eller en kompressors livstid är energikostnaden. Därför är det viktigt att du förvaltar energin effektivt för att få ut det mesta möjliga. Exemplet i figur 1 visar livscykelkostnaden, det vill säga förhållandet mellan kostnaderna räknat i dagens värde, för investering, underhåll och energi för en 15-årsperiod.



Figur 1. Förhållandet mellan kostnaderna för investering, underhåll och energi under en livscykel av 15 år för en eller flera kompressorer.

Tre former av energi:

- Nyttig energi – producerad luft går till ett nyttigt arbete och inte till läckage. Rätt verktyg används och tryckluft är det mest gynnsamma alternativet för arbetet som ska utföras, till skillnad från exempelvis kylning.
- Effektiv energi – tillförd energi till kompressor och övrig luftbehandlingsutrustning används optimalt. Kompressorerna används så energieffektivt som möjligt med avseende på trycknivåer och driftsätt, till exempel så liten tid som möjligt på avlastad drift.
- Återvunnen energi – så mycket som möjligt återvinns av den värme som annars kyls bort. Lämpliga och varaktiga objekt som kan tillgodogöra sig den återvunna värmen identifieras.

Nyttig energi

Läckage av tryckluft förekommer sannolikt i alla tryckluftssystem. Ett läckage på cirka 20-50 procent av luftbehovet under ordinarie drift är inte ovanligt. 80-90 procent av läckaget finns ofta närmast förbrukaren; i slangar, kopplingar och armaturer. Även läckaget i maskinerna kan vara betydande.

Ett läckage på cirka 25 procent av luftmängden som produceras under ordinarie produktion blir förhållandevis större om du har ett trycksatt nät även under icke produktionstid. Då producerar kompressorn endast luft till alla läckor.

Figur 2 visar hur stor del av den totala tillförda energin som går till läckage vid olika produktionstider och drifttider för kompressorn. Är läckaget 25 procent av total mängd producerad luft under ordinarie produktionstid i verkstad, så uppgår det till exempel till cirka 50 procent vid 3-skift och kontinuerlig luftproduktion året om.

Nedanstående tabell visar vilka förluster olika läckage orsakar. Läckageflödet gäller vid 7 bar = 8 bar (a) och luftproduktion dygnet runt, årets alla dagar. Effektbehovet baseras på 0,1 kWh/m³.

Hållets diameter	Läckageflöde	Effektbehov, kompressor	Energikostnad per år (365 dagar) (30 öre/kWh)
mm	m ³ /min	kW	kr
1	0,06	0,4	1 000
5	1,5	10	26 000
10	6	40	105 000
20	25	150	410 000

Tabell 1. Kostnad för olika läckage.

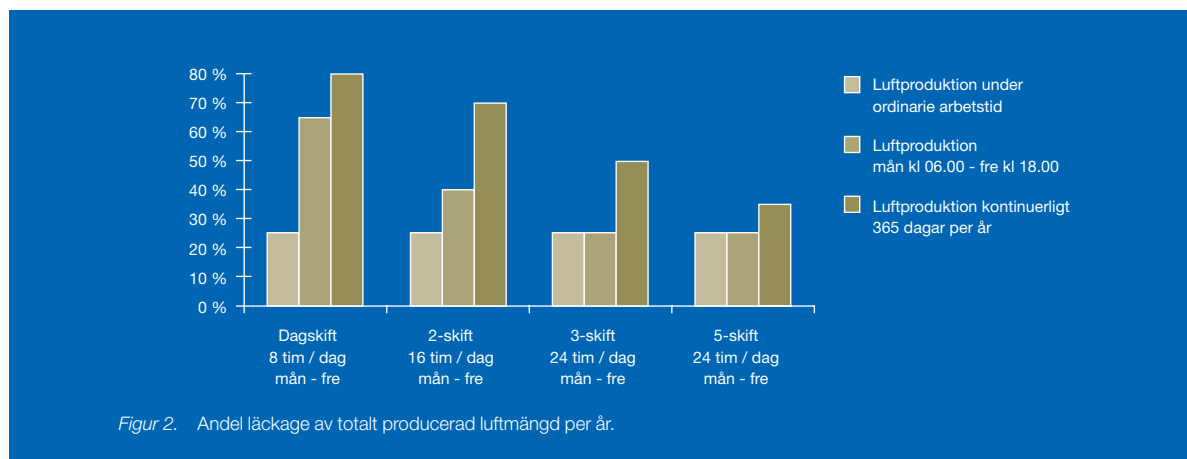
Några rekommendationer:

- Är tryckluft det absolut bästa för ändamålet? Det finns kanske effektivare lösningar för att uppnå önskad funktion, till exempel fläktar vid kylning etc.
- Ha inte distributionsnätet trycksatt längre tid än nödvändigt.
- Sänk trycket. Lägre tryck ger lägre läckage.

- Stamnätet och distributionsnätet ska vara helsvetsat och därmed helt tätt.
- Stamnät bör endast sektioneras mellan olika byggnader och större produktionsavsnitt.
- Stamnät och distributionsnät ska vara tätt så sätt automatiska avstängningsventiler mot förbrukare och uttag som ej behöver luft kontinuerligt.
- Förregla ventil mot maskinlinjens driftsignal om en maskin med eget styrsystem ansluts. Tryckreduceringar förekommer ofta internt på maskiner så använd därför inte snabböppnande magnetventiler. Låsbar förbigångsventil bör finnas.
- Beräkna kostnaden för tryckluftförbrukning för respektive produktionsavdelning. Använd helst flödesmätare. Det kräver att tryckluftsnätets geografiska utsträckning överensstämmer med respektive produktionsavdelning.
- Undvik långa slangledningar med hänsyn till tryckfall och läckagerisk. Det absolut största tryckfallet i en anläggning uppstår i serviser, tryckluftarmatur, slangar, kopplingar och slangsocklar.
- Slangar av PVC åldras, mister sin elasticitet och krymper, särskilt vid närvaro av olja. När slangen krymper så lossnar ofta slangklämmor med läckage som följd.
- Använd alltid avstängningsventil vid uttag.
- Utför läckagekontroll som återkommande underhållsåtgärd, helst en gång per vecka.
- Utför läckagekontroll under icke produktionstid minst en gång per månad.

Effektiv energi

Hur mycket av tillförd energi som går till att komprimera luft beror till stor del på hur kompressorerna styrs och hur optimalt kompressorerna används i förhållande till aktuellt luftuttag. Kompressorer med interna pressostater ger större tryckvariation. Det leder ofta till att man har ett lågt tryck vid stora uttag samt ett onödigt högt tryck vid låga uttag och framför allt under icke produktionstid när kompressorn endast "tätar läckor".



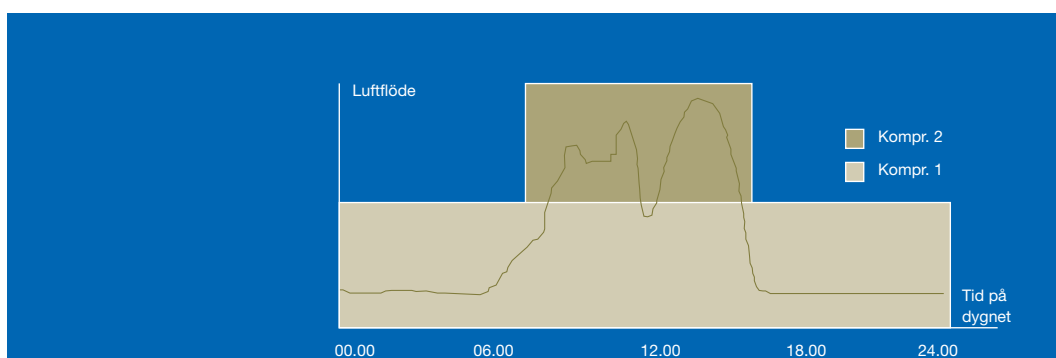
Figur 2. Andel läckage av totalt producerad luftmängd per år.

Det är viktigt att också hålla tryckdifferensen inom ett så snävt spann som möjligt eftersom drifttrycket påverkar energiförbrukningen. Överslagsmässigt ökar energiförbrukningen med 8 procent för varje bar ökning av drifttrycket inom intervallet 5-10 bar (e).

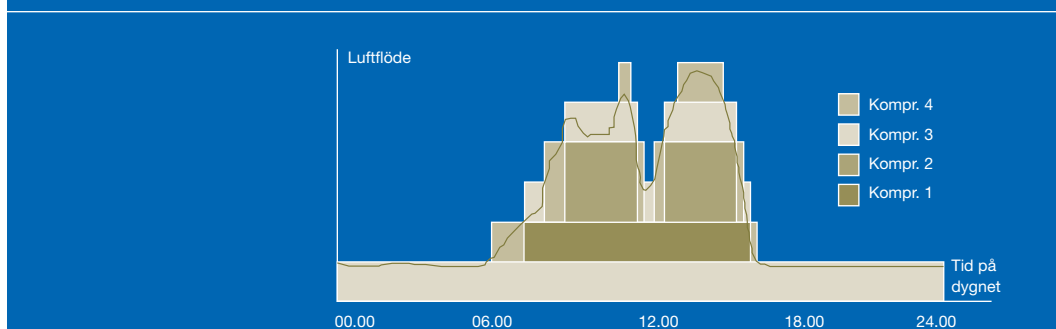
Effektbehov vid avlastad drift är cirka 20-40 procent av effekten vid pålastad drift. När kompressorn går avlastad så produceras ingen luft, den tillförda energin går inte till någon praktisk nytta mer än att hålla kompressorn i stand by-läge. Har man fler kompressorer så brukar det vara den som installerades sist som ligger och reglerar på topp, det vill säga på- eller avlastad respektive

avstängd drift. Här kommer ett styrsystem verkligen till sin rätt. Dels för att se till att det alltid är en liten kompressor som ligger på topp och reglerar, dels håller trycket på en jämn nivå inom 0,5 bar eller lägre.

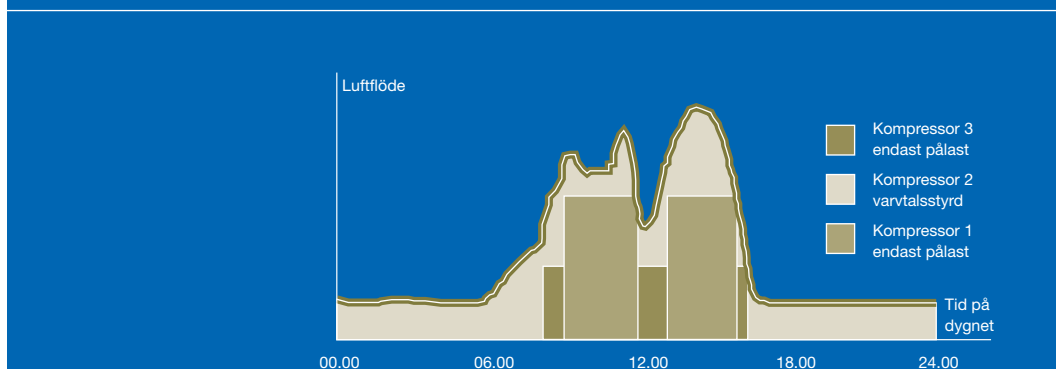
Figurerna nedan visar kompressorernas gångtid och tryckluftflödet under ett dygn. Varje fyrkant visar kapacitet och drifttid för respektive kompressor. I princip kan man säga att den del av respektive fyrkant som ligger under uttagskurvan motsvarar pålast och delen över avlast. Givetvis påverkas uttagskurvan av hur stor luftvolym som finns i nätet och inom vilken tryckdifferens som kompressorerna arbetar.



Figur 3. Två kompressorers gångtid och luftflöde under ett dygn.



Figur 4. Fyra kompressorers gångtid och luftflöde under ett dygn.



Figur 5. Tre kompressorers gångtid och luftflöde. Går kompressorerna 50 procent avlastade under en tidsperiod så går 20 procent av totalt tillförd energi till ingen nytta.

I figur 3 är total kompressorkapacitet uppdelad på två lika stora kompressorer. Avlasttiden är stor och hela tryckluftsproduktionen är mindre energieffektiv. Mindre tillförd energi kommer ut i tryckluftsledningen.

I figur 4 är kompressor 1 och 2 lika stora. Kompressor 3 och 4 motsvarar tillsammans kompressor 1 eller 2. Avlasttiden är kortare och energieffektiviteten högre.

I figur 5 används samma uttagskurva och tre kompressorer, varav en är frekvensstyrd. Den frekvensstyrda kompressorn reglerar efter uttagskurva. I detta fall förekommer ingen avlastdrift.

Några rekommendationer:

- Styr din kompressoranläggning inom ett så snävt tryckregister som möjligt (0,5 bar eller mindre).
- Identifiera och kategorisera din kompressorpark efter användning; vilka ska ligga som baskompressorer och vilka ska ligga på topp och regleras efter uttagskurvan. Vid köp av nya kompressorer väljs de sedan efter kategori.
- Backupbehovet kan tillgodoses på små anläggningar med mobila kompressorer som tillfälligt ställs upp utanför kompressorcentral och ansluts via extern koppling. Är anläggningen större så behöver inte backupbehovet vara större än den största kompressorn.
- Håll nere avlastläget, se till att det alltid är den för tillfället effektivaste kompressorn som jobbar.
- Se till att kompressormotorn automatiskt stoppar efter längre sammanhängande avlasttid.
- Använd luftbehandlingsutrustning anpassad till rätt behov. Undvik exempelvis alltför fina filter som ger ytterligare tryckfall och luftförbrukande torkar om det är möjligt, till exempel kallregenererade AD-torkar.
- Samordna underhållskostnader. Låt liknande kompressorer med samma storlek ha ungefär samma drifttid.
- Kör inte kompressorcentralen 24 timmar per dygn om möjligt, utan bara under produktionstid samt för underhåll.
- Utför driftuppföljning av kompressorcentral med avseende på energiförbrukning en gång per vecka om möjligt.

Återvunnen energi

När kompressorn komprimerar luften bildas det värme som framför allt binds i den komprimerade luften. Denna värme kyls sedan bort innan luften går ut i ledningssystemet.

Kompressorerna kyls med en kombination av luft och

vatten. Dessa kylmedier har olika temperaturnivåer beroende dels på var i kompressorn du kyler, dels på kompressortyp.

Cirka 60-90 procent av tillförd energi kan generellt sett återvinnas i form av värme. Eftersom all tillförd energi omvandlas till värme så förbättras driftekonomin betydligt om värmen från kompressionen kan användas för uppvärmningsändamål. Värmeåtervinning i någon form är en självklarhet inom modern tryckluftteknik.

Luftburen återvinning

Varmluften tas tillvara direkt från kompressornas kylslutslöpp och efterkylare vid luftburen återvinning. Luften leds i kanalsystem till en värmesänka. De flesta kompressorfabrikanter har färdiga system med hjälpfläktar, spjällarrangemang och reglerautomatik för detta. All tillförd energi, utom restvärmen i tryckluften, kan återvinnas vid luftburen värmeåtervinning.

Vattenburen återvinning

Från en vattenkyld kompressor kan kylvattnet användas för uppvärmningsändamål i ett slutet kylsystem. Ingående temperatur till kompressorn bör inte överstiga 30°C för efterkylning och 40-50°C när efterkylningen sker separat, däremot är det möjligt att erhålla en utgående temperatur från 80°C upp till 95°C för oljefria skruvkompressorer.

Äldre vattenkylda kompressorer kan vara konstruerade för låga kylvattentemperaturer, runt 10-30°C, vilket försvårar möjligheten till rationell återvinning.

Olja/vatten-värmeväxlare kan installeras i oljeinsprutade kompressorer där efterkylning sker med luft. Cirka 80 procent av tillförd energi kan tillvaratas vid framledningstemperatur 80°C och returtemperatur 70°C. Dessa temperaturer passar för förvärmning av returvatten till panncentraler, tappvarmvattenberedning och förvärmning av spädvatten till ångpannor med mera.

Några rekommendationer:

- Identifiera tänkbara värmeåtervinningsobjekt. De bör vara långsiktigt "hållbara" och gärna ha ett värmebehov som följer produktionstiderna året runt.
- Se till att returtemperaturen från värmesystemet är tillräckligt låg.



Nulägesanalys

Nulägesanalysen är en viktig grund för beslut om nyinvesteringar, oberoende av om det gäller att ersätta befintlig utrustning vid oförändrat luftbehov eller en nyinvestering med förändrat luftbehov. Nulägesanalysens syfte är att skapa en bild av var du står idag så att du därifrån kan sätta upp mål för framtiden.

Användare

En nulägesanalys av användare bör ha en koppling till olika produktionsavsnitt. Sammanställd kan den sedan tjäna som rättesnöre för framtida förändringar och ge indikationer på åtgärder. Analysen kan hjälpa dig att hitta en lämplig nivå och sedan sätta den som standard.

En nulägesanalys av användare bör omfatta:

- Under vilka produktionstider behövs tryckluft? Finns det produktionsutrustning som använder luft även utanför ordinarie produktionstid?
- Vilket är lägsta acceptabla lufttryck? Kan lufttrycket sänkas för eventuella behov utanför ordinarie produktionstid (nattsänkning)?
- Luftmängd m³/minut fri avgiven luftmängd (fri luft). Detta blir oftast en uppskattning då det kan vara svårt att bedöma sammanlagring av olika förbrukare.
- Vilken kvalitet krävs? Använd ISO 8573-1 för att bestämma kvalitetsklass (se tabell 2).

Kvalitetsklass	Föroreningar partikelstorlek (µm)	Föroreningar max. koncentration (mg/m ³)	Vatten max. tryckdagg punkt. (°C)	Olja max. koncentration. (mg/m ³)	Exempel på tillämpning
1	0,1	0,1	-70	0,01	Instrumentluft (och utomhusledning)
2	1	1	-40	0,1	Andningsluft
3	5	5	-20	1,0	Produktionsluft livsmedelsindustri
4	15	8	+3	5,0	Produktionsluft, instrumentluft, sprutmålning, blästring
5	40	10	+7	25	Produktionsluft, luft-verktyg, motorer i kontinuerlig drift
6	-	-	+10	-	Arbetsluft, luftverktyg, motorer i intermitter drift.

Tabell 2. Tryckluftkvalitet enligt ISO 8573-1.

Distribution

En nulägesanalys av ett distributionsnät har till huvudsyfte att klarlägga nyttjandet av hela tryckluftsnätet.

Ett större tryckluftsnät kan indelas i fyra huvuddelar:

- Stamledningar som transporterar luften från kompressorcentralen till förbrukningsstället/verkstadsenheten.
- Distributionsledningar som fördelar luften inom verkstadsenheten.
- Servisledningar som matar ut luften från distributionsledningen till användaren/arbetsplatsen.
- Tryckluftarmatur för anslutning mellan servisledning och tryckluftsförbrukare.

En nulägesanalys av ett distributionsnät bör klarlägga:

- Används alla delar av tryckluftsnätet? Stamledningar eller servisledningar som inte används bör inte vara trycksatta (demonteras?).
- Vilken rördimension och vilka eventuella strypningar i form av armatur finns på nätet? Rören ska vara dimensionerade med hänsyn till tryckfall och flöde.
- Är nätet ihopkopplat för ringmatning? Ringmatning av tryckluft ger avsevärt lägre tryckfall.
- Är nätet helsvetsat? Rörnätet bör vara helsvetsat minst fram till servisledning och varje avstick för servisledning ska börja med en avstängningsventil.
- Finns sektioneringsventiler? Om, vilken typ av ventil är det? Har de motordrift? Kan tryckluftsnätet sektioneras så att endast begränsade delar behöver hållas trycksatta beroende på olika avdelningars produktionstider?
- Finns annan armatur, till exempel kondensavtappare etc.? Är de i så fall nödvändiga och ingår denna typ av armatur i något underhållsschema (i ett modernt tryckluftsnät behövs normalt inga kondensavtappare och oljeavskiljare)?

Produktion

En nulägesanalys av tryckluftproduktionen har till syfte att visa hur energieffektivt systemet arbetar. Viktigast är att skapa sig en bild av tryckluftsfördelningen. Hur stor del är läckage respektive går till användarna och när går det till dem?

Därefter kartläggs hur kompressorerna jobbar och inom vilka tryckintervall. Hur fördelar sig tillförd energi mellan avlast och pålast, finns det någon form av värmeåtervinning och hur mycket energi återvinns i så fall?

Hur jobbar kompressorerna och i vilken ordning kommer de in? Har kompressorerna samma drifttider med tanke på service etc.?

- Läs av drifttiderna på kompressorerna. Du kan vanligen läsa av totalt antal timmar samt timmar pålast. Genom att använda kända data för kompressorerna kan du härigenom få fram flöde.
- Läs av högsta respektive lägsta drifttryck via manometer, helst placerad efter all luftbehandlingsutrustning men inom kompressorcentralen. Jämför värdena med motsvarande avlästa värden ute i produktion, framförallt under produktionstider när det sker stora uttag för att få ett begrepp om tryckfall och tryckintervall. Använd samma manometer eller kalibrerade manometrar.
- Försök att bedöma läckaget genom att läsa av drifttidsmätarna under icke produktionstid, exempelvis nattetid eller under helger. Genom att använda kända data för kompressorerna kan du få fram nyckeltal för läckaget.
- Försök att skapa dig en uppfattning om i vilken ordning kompressorerna går in respektive ur vid förändrat uttag. Det är absolut inte energieffektivt att ha den största kompressorn liggande på topp och reglera.
- Läs av elförbrukningen för kompressorcentralen och för respektive kompressor om möjligt. Genom att använda kända data för kompressorerna kan du få fram nyckeltal för totalt förbrukad energi per producerad luftmängd (kWh/m^3).
- Gör en dataloggad mätning av luftförbrukning vartannat år. Det ger en klar och entydig bild över uttagsmönster och läckage.

Strategi för att bygga kompressorcentral

Vid planering av en kompressorcentral bör du först tänka på placeringen.

- Finns det möjlighet att ha luftintag på norrsida för att få så kall luft som möjligt?
- Är luften förhållandevis ren vid luftintagen? Det kan påverka val av filter vid luftbehandling.
- Finns värmeåtervinningsobjekt i närheten med tanke på värmeåtervinning, till exempel via luft till produktionslokaler eller via vatten till returledning för panncentral?
- Finns plats utanför byggnaden för en mobil kompressor, om en reservkompressor måste kopplas in? Anslutningspunkten till tryckluftsnätet ska vara placerad före luftbehandling.
- Kompressorer som avger värme direkt till rummet får ej ställas i kylda lokaler.

Val av kompressorer är behovsstyrt från start.

Kompressor 1

Motsvarar aktuellt behov med maximalt två års framförhållning. Extern mobil kompressor som backup.

Kompressor 2

Motsvarar huvudskift alternativt kvällskift, dock inte större än 60 procent av kompressor 1. Denna kompressor ska alltid ligga på topp och regleras efter uttagskurvan. Extern mobil kompressor som backup.

Kompressor 3

Samma kriterier som för kompressor 2 vilket ger att dessa två tillsammans motsvarar kompressor 1.

Kompressor 4

Motsvarar antingen kompressor 1, kompressor 1 plus kompressor 2 eller kompressor 1 plus kompressor 2 plus kompressor 3 beroende på backup-krav. Här finns möjlighet att lägga in backup upp till cirka 100 procent. Denna kompressor kommer att ligga som baskompressor och mestadels i pålastläge.

Kompressor 5

Ska motsvara kompressor 1 eller kompressor 4.

Uppbyggnaden av kompressorer blir i princip enligt figur 6.

Uppbyggnad av kompressorcentral där en av kompressorerna är frekvensstyrd blir i princip enligt figur 7 på höger sida. I den är: Kompressor 1 frekvensstyrd
Kompressor 2 av-/pålast
Kompressor 3 av-/pålast

Ska en frekvensstyrd kompressor ingå, så bör följande förutsättningar vara uppnådda så den frekvensstyrda kompressorn alltid har tillräcklig kapacitet för att regleras efter uttagskurva. I övrigt kan samma tankesätt användas som i

figur 6. Det är viktigt att den frekvensstyrda kompressorn är konstruerad för frekvensstyrning.

Kompressor 1

Frekvensstyrd kompressor.

Kompressor 2

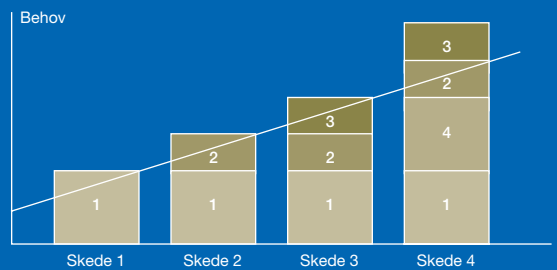
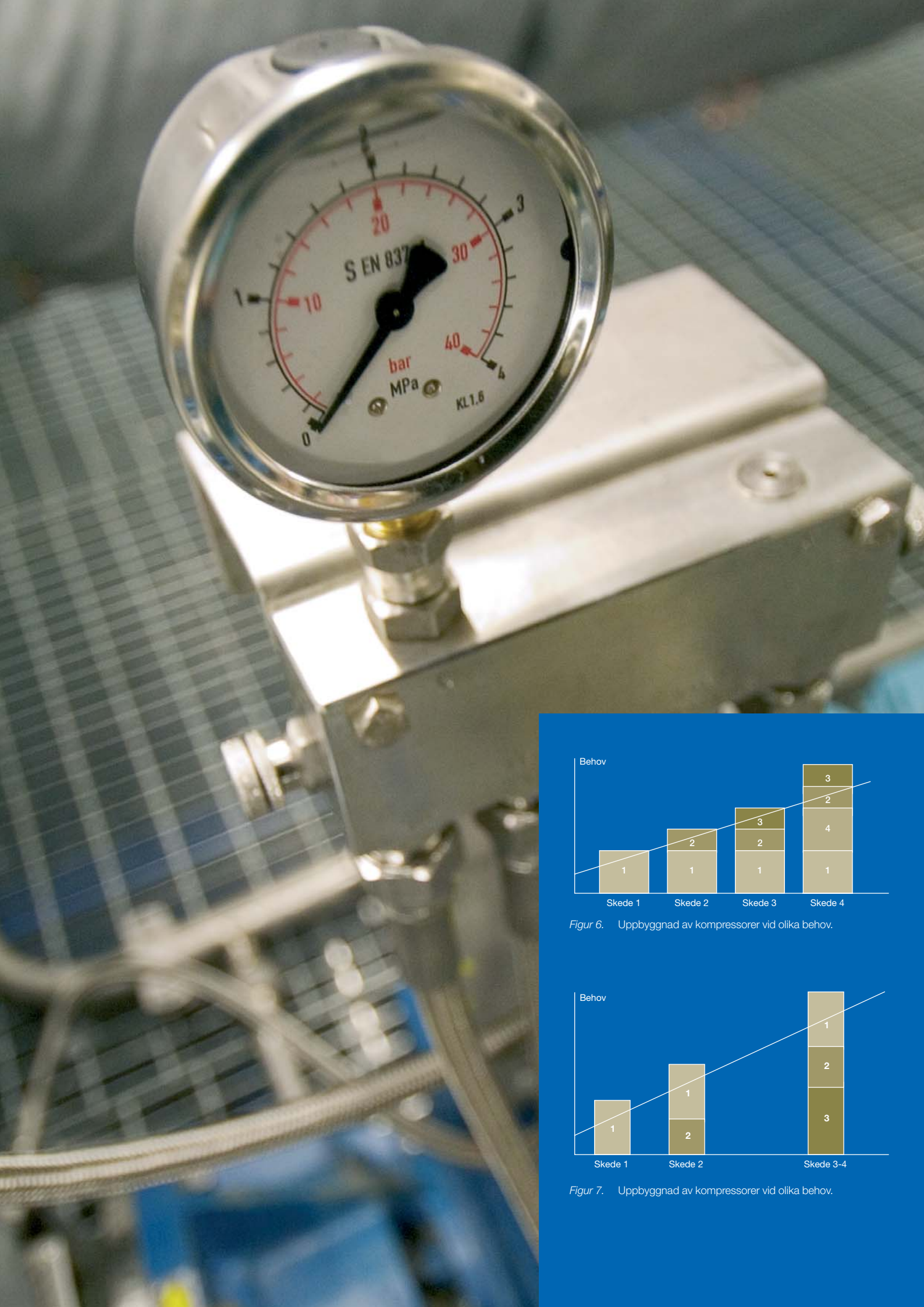
Kompressor 2 ska vara mindre än kompressor 1.

Kompressor 3

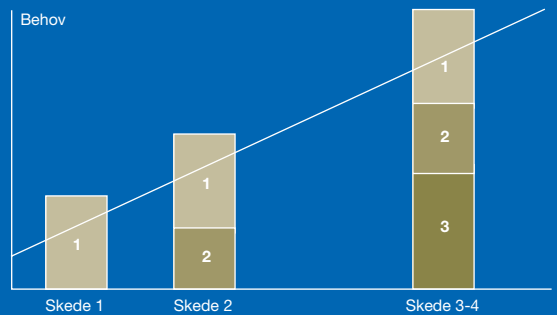
Kompressor 3 ska vara mindre än kompressor 1 plus kompressor 2.

Jobbar fler än två kompressorer tillsammans eller har kompressorerna olika storlek så krävs elektronisk styrning som ser till att den mest ekonomiska kompressorn ligger på topp.

För luftbehandling väljs kyltork i första hand och dimensioneras med mer än två års framförhållning. Utgående tryckluftsstammar dimensioneras rikligt med hänsyn till framtida utbyggnadsmöjligheter. Rörvolymer är en del av ackumuleringsvolymen.



Figur 6. Uppbyggnad av kompressorer vid olika behov.



Figur 7. Uppbyggnad av kompressorer vid olika behov.

Välj med hjälp av LCC-kalkyl

När tryckluftsbekovet har definierats och en projektering av tryckluftsutrustning har genomförts så återstår att handla upp utrustningen. En offertförfrågan utarbetas och sänds till aktuella offertgivare. Offerterna som sedan kommer tillbaka ska vara baserade på uppgifter från både dig som beställare och leverantören. I kapitlet "Kravspecifikation" finns olika uppgifter som bör ingå i en offert.

Inkomna offerter ska sedan värderas. Energikostnaderna under tryckluftskompressorernas livslängd är i regel mycket större än investeringskostnaden som tidigare påpekats, se figur 1. Gör du den ekonomiska värderingen av offerterna med hjälp av beräknad livscykelkostnad (LCC), så ligger de totala kostnaderna under kompressordriftens hela livslängd till grund för valet av leverantör.

Hur beräknas LCC?

De viktigaste komponenterna är:

- investeringskostnader för tryckluftsutrustning
- energikostnader under tryckluftsutrustningens livstid
- underhållskostnader (inklusive stilleståndstid) under tryckluftsutrustningens livslängd
- värmeåtervinningsintäkt under tryckluftsutrustningens livslängd

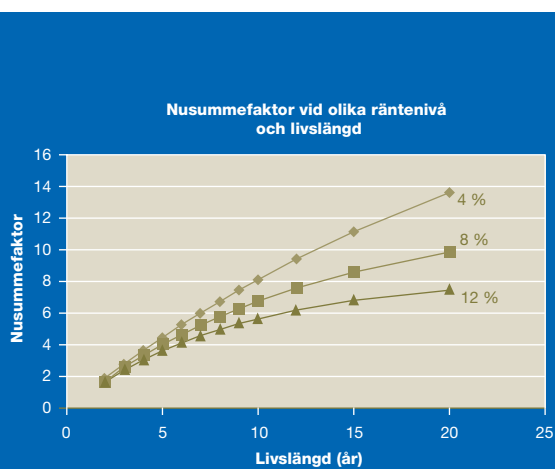
Energi- och underhållskostnaderna kommer att variera under årens lopp. Det är mycket svårt att förutsäga hur stora dessa variationer kommer att bli. För enkelhets skull antas att kostnaderna för drift och underhåll är lika stora varje år. De löpande energi- och underhållskostnaderna under tryckluftssystemets ekonomiska livslängd, kanske 20 år, räknas om till dagens värde med hjälp av den så kallade nusummefaktorn. Då kan de jämföras med investeringskostnaderna som uppstår första året.

Nusummefaktorn bestäms av tryckluftsutrustningens ekonomiska livslängd n (år) och av kalkylräntan r_k (angiven i procent).

$$\text{Nusummefaktorn} = [1 - (1 + 0,01 \times r_k)^{-n}] / (0,01 \times r_k)$$

Nusummefaktorns värde vid olika kalkylräntor och ekonomiska livslängder framgår av figur 8 till vänster och tabell 3 på höger sida.

Figur 8 visar att en låg räntenivå leder till högre värden på nusummefaktorn. Det betyder att nuvärdet blir högre på framtida kostnader för energi och underhåll. I tabell 3 redovisas värdet på nusummefaktorn för ett antal olika livslängder och räntenivåer.



Figur 8. Nusummefaktorn som funktion av livslängden vid tre olika räntenivåer.

Nusummefaktor

Kalkylränta i procent

År	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
2	2,00	1,97	1,94	1,91	1,89	1,86	1,83	1,81	1,78	1,76	1,74	1,63
3	3,00	2,94	2,88	2,83	2,78	2,72	2,67	2,62	2,58	2,53	2,49	2,28
4	4,00	3,90	3,81	3,72	3,63	3,55	3,47	3,39	3,31	3,24	3,17	2,85
5	5,00	4,85	4,71	4,58	4,45	4,33	4,21	4,10	3,99	3,89	3,79	3,35
6	6,00	5,80	5,60	5,42	5,24	5,08	4,92	4,77	4,62	4,49	4,36	3,78
7	7,00	6,73	6,47	6,23	6,00	5,79	5,58	5,39	5,21	5,03	4,87	4,16
8	8,00	7,65	7,33	7,02	6,73	6,46	6,21	5,97	5,75	5,53	5,33	4,49
9	9,00	8,57	8,16	7,79	7,44	7,11	6,80	6,52	6,25	6,00	5,76	4,77
10	10,00	9,47	8,98	8,53	8,11	7,72	7,36	7,02	6,71	6,42	6,14	5,02
15	15,00	13,87	12,85	11,94	11,12	10,38	9,71	9,11	8,56	8,06	7,61	5,85
20	20,00	18,05	16,35	14,88	13,59	12,46	11,47	10,59	9,82	9,13	8,51	6,26

Tabell 3. Nusummefaktorn vid olika kalkylräntor och ekonomiska livslängder.

Formeln för att beräkna livscykelkostnaden (LCC) är:

$$LCC_{\text{tot}} = \text{investering} + LCC_{\text{energi}} + LCC_{\text{underhåll}}$$

$$LCC_{\text{energi}} = \text{årlig energikostnad} \times \text{nusummefaktorn}$$

$$LCC_{\text{underhåll}} = \text{årlig underhållskostnad} \times \text{nusummefaktorn}$$

Utförligare beskrivning av hur du beräknar LCC finns i referens 2. Där framgår även hur du kan ta hänsyn till förväntad reell årlig energiprisökning. Förväntas till exempel energipriset öka med 2 procent per år, så minskar du den antagna kalkylräntan med 2 procent vid beräkning av nusummefaktorn. På motsvarande sätt kan hänsyn även tas till årliga procentuella öknings av underhållskostnaderna.

Exempel

Electrolux i Mariestad behövde förnya sin maskinpark av kompressorer och luftbehandlingsutrustning. Tryckluftsfördet mättes med datalogger. Den insamlade datamängden behandlades och presenterades i diagramform, dels som en uttagskurva och dels som en varaktighetskurva över en veckas produktionsstimmar. Ett varaktighetsdiagram visar uttagen luftmängd per avläsningsperiod, sorterad från den högsta till den lägsta. Olika sammansättningar av kompressorer prövades sedan med detta material som underlag för att finna den mest energieffektiva sammansättningen. Genom att lägga in kompressorernas flödeskapacitet i varaktighetsdiagrammet kunde respektive kompressors drifttid för på- och avlast bedömas. Uppgifterna sammanställdes sedan enligt tabell 4 och LCC beräknades enligt tabell 5.



Följande uppgifter från leverantörsoffert användes för att beräkna en LCC-kostnad:

- Kompressorkapacitet, m³/min (fri avgiven luftmängd enligt CAGI, se referens 1)
- Energiförbrukning vid pålast, kWh/m³ (energieffektivitet vid ett bestämt sluttryck)
- Energiförbrukning vid avlast, kWh/m³
- Underhållskostnad/kompressor för underhållsintervall 40 000 h
- Investeringskostnader
- Återvinningsbar värme från oljekylare vid pålast
- Återvinningsbar värme från oljekylare vid avlast

	Energi pålast kWh/år	Energi avlast kWh/år	Energi totalt kWh/år	Andel drifttid pålast %	Energi/m ³ pålast* kWh/m ³	Energi/m ³ totalt** kWh/m ³
Torkutrustn.	70 000		70 000	100		
Kompressor	2 370 000	295 000	2 665 000	93		
Summa			2 735 000		0,095	0,098

Tabell 4. Sammanställda uppgifter för Electrolux i Mariestad.

* Visar hur energieffektiva kompressorer och övrig utrustning är.

** Visar hur energioptimalt kompressorer och utrustning används.

Investeringskostnad:	2 500 000 kr (varav 500 000 för värmeåtervinningsutrustning)
Underhållskostnader:	79 000 kr/år
Energikostnad:	0,30 kr/kWh
Värmeåtervinning:	60 procent av tillförd energi
Nusummefaktor:	11,12 (vid en beräknad ekonomisk livslängd på 15 år och kalkylränta på 4 procent)
α -faktor för värmeåtervinning:	0,5 (viktningfaktor)

	Energikostnad kr/år	Värmeåtervinningsintäkt kr/år
Tork	21 000	-
Pålast kompressorer	711 000	213 300
Avlast kompressorer	88 500	26 550
Summa	820 500	239 850

Tabell 5. Beräkningar för LCC-kalkyl.

$LCC = \text{investeringskostnad} + ((\text{underhållskostnad} + \text{nettoenergikostnad}) \times \text{nusummefaktor})$

Nettoenergikostnad med värmeåtervinning: $820\,500 - 239\,850 = 580\,650$ kr

$LCC = 2\,500\,000 + ((79\,000 + 580\,650) \times 11,12) = 9\,835\,308$ kr

Kravspekifikation

Här följer ett antal krav som med fördel kan användas som en del av offertförfrågan inför en tryckluftsupphandling. Kraven är av teknisk, systemmässig och ekonomisk natur. De är skrivna så att en väl fungerande kommunikation mellan beställare och leverantör upprättas. Det krävs för att den färdiga installationen ska bli effektiv och driftsäker.

Användare

Tillgänglig tryckluftskvalitet i anslutningsledning:

Lägsta tryck i anslutningsledning: _____ bar (6,0 bar (e) om inte annat anges)

Högsta tryck i anslutningsledning: _____ bar (6,5 bar (e) om inte annat anges)

Tryckluftens kvalitetsklass enligt ISO 8573-1: _____ (klass 5 om inte annat anges)

Kvalitetsklass om specifika krav ställs på föroreningar enligt ISO 8573-1

Kvalitetsklass om specifika krav ställs på vatten enligt ISO 8573-1

Kvalitetsklass om specifika krav ställs på olja enligt ISO 8573-1

Sammanlagt erforderligt flöde under produktionstid: _____ m³/min (exklusive läckage)

Sammanlagt erforderligt flöde under icke produktionstid: _____ m³/min (exklusive läckage)

Kan alternativ teknik användas istället för tryckluftdriven utrustning? Effektiviteten för en tryckluftdriven utrustning är låg (< 15 procent), se kapitlet ”Alternativ teknik”.

Följande krav ska gälla:

1. Tryckfall i servisenhet med slang får inte överstiga 0,4 bar vid dimensionerat flöde.
2. Maskiner och verktyg dimensioneras för ett tryck vid förbrukningsstället som motsvarar lägsta tryck i anslutningsledning minus tryckfall i servisenhet med slang.
3. Slangar, kopplingar och serviceenheter ska vara täta. Använd slangar och kopplingar av hög kvalitet. Byt ut skadade komponenter.
4. Enskild utrustning som ansluts till tryckluftsnätet ska ha automatisk avstängningsventil på ledning för tryckförsörjning, under förutsättning att utrustningen har minst fem tryckluftsanslutna komponenter eller uttag. Det gäller om nätet är trycksatt när maskin eller verktyg inte används.
5. Avstängningsventil ska stänga då utrustningen inte behöver någon tryckluftsförsörjning. Det gäller om nätet är trycksatt när maskin eller verktyg inte används.
6. Behövs ställvis högre luftkvalitet än angiven ovan ska lokal tilläggsbehandling tillgripas i första hand. Definiera luftkvalitet enligt ISO 8573-1.
7. Specificera verktyg för mindre än eller lika med 6 bar (e), ställ krav på verktyg och maskiner. Beakta tryckfall i servisenhet och slang.

Distribution

Erforderlig tryckluftskvalitet i anslutningsledningar:

Lägsta tryck i anslutningsledning: _____ bar (6,0 bar (e) om inte annat anges)

Högsta tryck i anslutningsledning: _____ bar (6,5 bar (e) om inte annat anges)

Tryckluftens kvalitetsklass enligt ISO 8573-1: _____ (klass 5 om inte annat anges)

Kvalitetsklass om specifika krav ställs på föroreningar enligt ISO 8573-1: _____

Kvalitetsklass om specifika krav ställs på vatten enligt ISO 8573-1: _____

Kvalitetsklass om specifika krav ställs på olja enligt ISO 8573-1: _____



Erforderligt tryck och flöde i utgående huvudledning vid tryckluftscentral eller motsvarande:

Lägsta tryck i utgående huvudledning: _____ bar (6,1 bar (e) om ej annat anges)

Högsta tryck i utgående huvudledning: _____ bar (6,5 bar (e) om ej annat anges)

Högsta erforderliga flöde: _____ m³/min fri luft (exklusive läckage)

Läckage: _____ m³/min fri luft (fördelas på deluttagen)

Framtida reserv: _____ m³/min fri luft (läggs på anvisad plats i nätet)

Summa momentant flöde: _____ m³/min fri luft

Följande krav ska gälla:

1. Rörssystem för tryckluft utformas om möjligt som ringmatningssystem, dimensionerat för maximalt 0,1 bar tryckfall mellan utgående ledning från tryckluftscentral och tryckluftsuttaget beläget längst bort.
2. Högsta tillåtna tryckfall får fördela sig enligt följande:
Stamledning: 0,03 bar
Distributionsledning: 0,03 bar
Serviceledning: 0,04 bar
3. Rörsystemet utförs med svetsade skarvar och insvetsad armatur så långt som möjligt och helst med ringmatning.
4. Rörsystemet ska vara fritt från läckage.
5. Rörsystemet bör sektioneras med hänsyn till servicemöjlighet och de olika fabriksdelarnas luftbehov, till exempel separat matning till del som behöver luft under tider då övriga fabriken står stilla.
6. Uttagspunkter från distributionsnätet (stålrörsnätet) förses med avstängningsventiler som med fördel kan manövreras automatiskt, exempelvis en kulventil med långsamtgående elektriska ställdon som kopplas till maskinlinjens manöverkrets eller huvudbelysning.
7. Överväg inplacering av lokala luftbehållare i uttagspunkter med kortvarigt höga flöden. De dimensioneras med avseende på uttagsprofil. Lokala "topplastkompressorer" ska undvikas.
8. Distributionssystem med högre trycknivå än 7 bar bör undvikas. Behövs små mängder med högre tryckbehov bör separat kompressor användas.
9. Stamledningsnätet ska dimensioneras rikligt med hänsyn till maximal utbyggnad i fabrik och eventuella nyutbyggnader.

Produktion

Erforderligt dimensionerat tryck, flöde och kvalitet i utgående huvudledning vid tryckluftscentral eller motsvarande:

Lägsta tryck i utgående huvudledning: _____ bar (6,1 bar (e) om inte annat anges)

Högsta tryck i utgående huvudledning: _____ bar (6,5 bar (e) om inte annat anges)

Högsta erforderliga flöde: _____ m³/min fri luft (exklusive läckage)

Läckage: _____ m³/min fri luft (fördelas på deluttagen)

Framtida reserv: _____ m³/min fri luft

Dimensionerande flöde: _____ m³/min fri luft (eventuellt flöde för adsorptionstork ingår inte)

Tryckluftens kvalitetsklass enligt ISO 8573-1: _____ (klass 5 om ej annat anges)

Kvalitetsklass om specifika krav ställs på föroreningar enligt ISO 8573-1: _____

Kvalitetsklass om specifika krav ställs på vatten enligt ISO 8573-1: _____

Kvalitetsklass om specifika krav ställs på olja enligt ISO 8573-1: _____

Följande krav ska gälla:

1. Specifikt energibehov som årsmedelvärde för produktion och behandling av luft får inte överstiga 0,11 kWh/m³ fri luft, definition enligt referens 1. Förbrukning hos tork och eventuell separat efterkylare ska ingå. Lägst tryck i utgående huvudledning samt övriga kvalitetskrav enligt ovan.
2. Högsta tryckfallet över tork ska vara 0,35 bar.
3. Högsta tryckfallet över respektive filter ska vara 0,1 bar.
4. Högsta tryckfall över eventuell separat efterkylare med vattenavskiljare ska vara 0,2 bar (tryckluftside).
5. Högsta utgående tryckluftstemperatur efter efterkylare ska vara 10 grader över kylmedlets temperatur.
6. Eventuell adsorptionstork ska inte användas om annan, mindre energikrävande avfuktningsslag kan användas.
7. Eventuell adsorptionstork ska vara försedd med daggpunktsstyrning och inte kallregenererande.
8. Anläggning med flera kompressorer ska vara försedd med elektronisk styrutrustning för optimal styrning/val av kompressorer.
9. Trycknivån i systemet bör anpassas automatiskt till rådande behov och minst hållas inom +/- 0,2 bar på utgående ledning från kompressorcentral. Möjlighet bör finnas för nattsänkning.
10. Anläggningen ska vara försedd med kWh-mätare för tillförd el till kompressorer och övrig hjälp-utrustning.
11. Respektive kompressor ska vara försedda med drifttidmätare för total drifttid och pålastad tid.
12. I det överordnade styrsystemet, alternativt i respektive kompressor, bör luftproduktionen, m³, kunna beräknas jämte energiförbrukning, kWh, och specifik förbrukning kWh/m³. Utöver det ackumulerade värdet för respektive enhet bör det rullande veckovärdet kunna avläsas för de tre enheterna kWh/vecka, m³/vecka och kWh/m³.
13. Dellastverkningsgraden för respektive kompressor-enhet i kWh/m³ ska anges i kurvform för hela arbetsområdet.
14. All utrustning, inklusive övervakningsutrustning i kompressorcentralen, ska minst ha skyddsklass IP23.
15. Underhållsintervall och aktuella åtgärder ska specificeras (riktvärde 40 000 h). Beräknad stopptid och kostnad vid varje underhållstillfälle anges.
16. Serviceintervall och aktuella åtgärder anges (exempelvis filterbyten, oljebyten etc.). Årlig drift och underhållskostnad samt kostnad för smörj-medel, filter och övrig förbrukning ska anges.
17. En samordnad funktionsprovning ska utföras. Prestandandan ska vara enligt "Kalkylera med LCCenergi", bilaga R3, se referens 2 (ett enklare alternativ är att begära att kompressorerna levereras med uppmättningsprotokoll från fabrik som anger energieffektivitet kWh/m³ och toleranser för att innehålla garanti.)
18. Garantitid 2 år.
19. Elmotorer bör vara av högverkningsgradstyp, se referens 3.
20. Strömkurva och spänningskurva mot elnätet ska vara så sinusformad som möjlig. Halten övertoner ska anges.
21. Anläggningen ska vara förberedd för vätskeburen värmeåtervinning. Utgående vattentemperatur ska vara lägst 70 grader från mellankylare/oljekylare. Kylmedelsflödet begränsas vid dellast så att kylmedelstemperaturen inte understiger 60 grader. Utgående temperatur från efterkylare anges.
22. Kompressorer placeras på sådant sätt att kylluft och insugningsluft är så ren och sval som möjligt.
23. Anläggningens drifttillgänglighet ska vara 98 procent inklusive auktoriserad service.
24. Mätutgången från respektive levererad kompressor och kyltork till befintlig styr- och övervaknings-dator ska vara med energi (kWh) och drifttid (av- och pålast).
25. Regleringen av kompressorer bör vara antingen av-/pålast eller varvtalsstyrning (frekvensstyrning).

Utvärdering

Utvärdering kommer att ske med hänsyn till livscykelkostnad enligt "Kalkylera med LCCenergi", se referens 2, där LCC_e viktningfaktorn $\alpha = 1,0$ för elanvändningen. För besparing från värmeåtervinning sätts $\alpha = 0,5$.
Årlig kostnad = (kostnad_{el} x 1,0) - (0,5 x intäkt_{våv})

Eget material inför en upphandling.

- Förbrukning över tid som kurvor i diagramform, gärna med varje dag inklusive helger inplottade.
- Krav på tryckluftskvalitet enligt ISO 8573-1, se referens 4.
- Krav på tillgänglighet (eventuell reservkapacitet).
- Företagets egna standarder eller krav för installationer.

Alternativ teknik

Ett flertal tryckluftstillämpningar kan också utföras med annan teknik, till exempel högtrycksfläktar för kylning och eldrivna handverktyg.

Handverktyg

Vinkelslipar, mutterdragare och borrar-maskiner för produktionsändamål drivs ofta med tryckluft. För att få en mekanisk effekt av 1 kW i handverktyget går det åt ca 7 kW kompressoreffekt – verkningsgraden är 12-15 procent. Eldrivna verktyg har betydligt högre verkningsgrad, åtminstone 50 procent.

Det finns tre olika typer av eldrivna handverktyg:

- universalsmaskiner
- trefasmaskiner
- högfrekvensmaskiner.

Universalsmaskiner

Dessa maskiner är lätta att ansluta, de kräver bara ett vanligt eluttag (230 V). Nackdelen är deras vikt i förhållande till effekten samt varvtalsminskningen vid belastning.

Trefasmaskiner

Trefasmotorn är driftsäker och tål överbelastningar, men dess konstanta varvtal

(3 000 rpm) kräver mekaniska växlar om annat varvtal önskas för exempelvis en vinkelslip. Handverktyget får därigenom relativt hög vikt i förhållande till effekt.

Högfrekvensverktyg

Moderna elverktyg med högfrekvensdrift är inte nämnvärt tyngre eller mer svårarbetade än motsvarande för tryckluft och är således ofta ett likvärdigt alternativ. Högfrekvensdrift innebär att nätspänningen omformas till frekvensen 200 eller 300 Hz. På det sättet kan asynkronmotorers storlek minska och ändå fås samma effekt ut med ett högre varvtal, 12 000 rpm vid 200 Hz och 18 000 rpm vid 300 Hz. För andra varvtal krävs mekaniska växlar. Dessa verktyg kräver ett separat eldistributionsnät för högfrekvensdrift. På marknaden finns även mutterdragare för högfrekvensdrift med egen omformare som ansluts direkt till eluttag (230 V). Dessa verktyg ger hög effekt trots låg vikt. Med hjälp av styrelektronik kan åtdragningsförloppet regleras mycket noggrant.

Andra tillämpningar

Kylning

Det är enkelt att kyla exempelvis motorer med tryckluft, men det är i längden tämligen oekonomiskt. En extra fläkt kan i de flesta fall lösa problemet utan att du behöver använda tryckluft.

Renblåsning

Om du behöver tryckluft för renblåsning bör du använda speciellt utformade munstycken som kan dra nytta av så kallad ejetorverkan (förmåga att dra med luften som omger munstycket). Jämfört med konventionella munstycken kan luftanvändningen reduceras upp till 50 procent.

Jämförelse elverktyg, tryckluftsvärktyg

En jämförelse mellan motsvarande verktyg drivna med tryckluft respektive el. I listpris ingår inte kostnad för tryckluftsanläggning eller omformaranläggning.

Se tabell nedan.

Vinkelslipmaskin Ø 180	Tryckluft Atlas Copco	El, HF (300 Hz) Bosch	El, universal (230 V) Bosch
Beteckning	LSV50 S085 - 18	HWS 77/180	GWS 24-180
Varvtal	7 700 r/min	8 600 r/min	8 500 r/min
Förbrukning	31 l/s vid maxeffekt	1,45 kW nom ¹	2,5 kW
Avverkande effekt	1,2 kW max	1,05 kW nom ¹	Uppgift saknas
Kräver eleffekt	12,5 kW till kompressor	1,6 kW till omformare (nom ¹)	2,5 kW
Vikt	3,3 kg	4,3 kg	5,2 kg
Cirkapris 2005	10 000 kr	6 500 kr	1 900 kr
Skruvdragare M4	Atlas Copco	Bosch	Bosch
Beteckning	LUM21 PR14-P	HSR 44-A	GSR 6-25 TE
Momentområde	0,5-2,4 Nm	0,9-3,0 Nm	Uppgift saknas
Varvtal	1 400 r/min	1 260 r/min	1 700 r/min
Förbrukning	4 l/s	125 W nom ¹	500 W
Avverkande effekt	Uppgift saknas	65 W nom ¹	270 W
Kräver eleffekt	1,6 kW till kompressor	0,14 kW till omformare (nom ¹)	0,5 kW
Vikt	0,7 kg	0,8 kg	1,5 kg
Cirkapris 2005	7 300 kr	9 000 kr	2 100 kr

1) Elverktygen kan kortvarigt överbelastas upp till 2,5 ggr.



Referenser

1. CAGI-PNEUROP PN2CPTC2, Compressed Air And Gas Institute, CAGI. Innehåller standard för definitioner av kapacitet och energieffektivitet hos eldrivna enhetskompressorer.
2. Kalkylera med LCCenergi, utgåva 2, Industrilitteratur (2004).
3. Högeffektiva elmotorer, Energimyndigheten (2005).
4. SS-ISO 8573-1 Tryckluft - Del 1: Föreningar och renhetsklasser (2001).
5. Tryckluftshandboken, sjätte upplagan, Atlas Copco (1998).

Mer information

Energirådgivare

Diskutera gärna ditt företags energisituation med kommunens energirådgivare. De ger opartisk och lokalt anpassad information och rådgivning till allmänheten, organisationer samt små- och medelstora företag. Kontaktuppgifter till alla kommunala energirådgivare och regionala energikontor finns på Energimyndighetens webbplats www.stem.se.

Energimyndigheten

Energimyndigheten ska verka för en effektiv och hållbar energianvändning med låg negativ inverkan på hälsa, miljö och klimat. På myndighetens webbplats www.stem.se finns information om energieffektivisering för företag, till exempel fler krav vid upphandlingar av olika energiförbrukande system.

Krav på tryckluftssystem

Driftkostnaden för en tryckluftsanläggning är betydligt högre än investeringskostnaden, sett till anläggningens hela livslängd.

När du handlar upp ett nytt system har du en unik möjlighet att påverka energiförbrukningen och därmed driftkostnaden under alla år som det är i bruk.

Denna broschyr innehåller krav du kan ställa vid en upphandling samt information om hur du uppnår en energieffektiv och genomtänkt systemlösning.

Broschyrserien omfattar hittills:

- Krav på fläktar
- Krav på kylaggregat
- Krav på pumpar
- Krav på tryckluftssystem

Alla trycksaker kan beställas via Energimyndighetens publikationsservice:

Energimyndigheten
Förlaget
Box 310
631 04 Eskilstuna
Telefon: 016-544 20 00
Telefax: 016-544 22 59
E-post: forlaget@stem.se

De finns även för nedladdning i PDF-format på Energimyndighetens webbplats www.stem.se.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Tel. 016-544 20 00, Fax. 016-544 20 99, www.stem.se