

# Energibesparelser ved trykluft



# Indhold

<b>Trykluft – en god energiform, der skal bruges med omtanke .....</b>	<b>3</b>
<b>Energibesparelser på eksisterende anlæg .....</b>	<b>4</b>
Luftindtag .....	4
Kompressorer .....	4
Luftbehandling .....	8
Fordelingsnet .....	8
Trykluftbrugere .....	9
Varmegenvinding .....	10
<b>Drift og vedligehold .....</b>	<b>12</b>
Overvågning og kontrol .....	12
Vedligehold .....	12
Energicheck af trykluftanlæg .....	13
Skema til energicheck af trykluftanlæg .....	14
<b>Projektering og indkøb .....</b>	<b>16</b>
Projektering .....	16
Indkøb .....	16
<b>Sådan sparer andre .....</b>	<b>18</b>
Ny fabrik med energieffektivt trykluftsystem .....	18
Lavere tryk og en produktion, nøje tilpasset behovet for luft .....	18
Mindre elforbrug med frekvensregulering og fælles produktion til to net .....	19
Større beholder og mindre luftforbrug .....	20
Bedre afrensning og lavere trykforbrug med alternativt rensesystem .....	21
<b>Test selv dit trykluftanlæg .....</b>	<b>22</b>
<b>Litteratur .....</b>	<b>23</b>
<b>Gode råd om energibesparelser ved trykluft .....</b>	<b>24</b>

Pjecen beskriver energiforholdene ved trykluftanlæg og viser, hvordan energien kan udnyttes effektivt. Pjecen er skrevet til virksomhedens teknikere og til rådgivere. Den kan bl.a. bruges:

- når det eksisterende trykluftanlæg ønskes energieffektiviseret
- når overvågning og vedligeholdelse af anlægget ønskes forbedret
- hvis der opstår problemer med for lavt tryk, for lidt luft osv.
- ved indkøb af udstyr eller projektering af nye anlæg, hvor energiforbruget ønskes effektiviseret

Forsidebillede: Trykluftstyrede ventiler i koblingsanlæg hos Carlsberg Danmark A/S, Valby  
Fotograf: Lars Grunwald

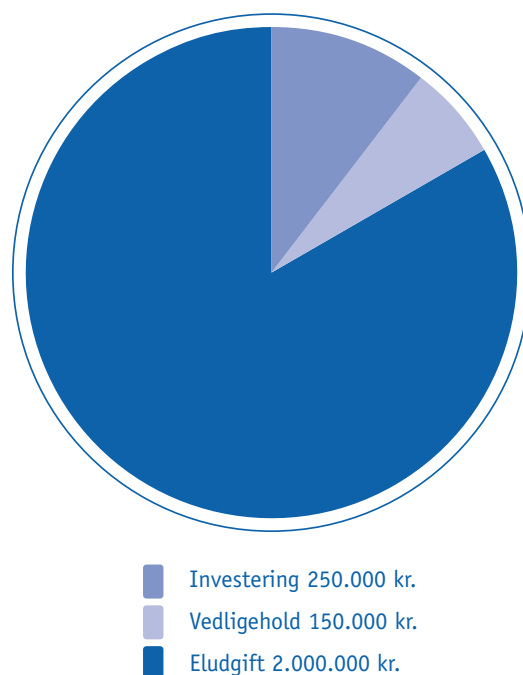
# Trykluft – en god energiform, der skal bruges med omtanke

Trykluft er en uforlignelig energiform til utallige formål. Trykluftanlæg er enkle og driftssikre, og ved mange anvendelser findes der ingen reelle alternativer. Trykluft er derfor meget udbredt i industrien. Ca. 12% af industriens elforbrug går til at producere trykluft.

Men trykluft udnyttet som energiform er dyr, fordi kun en mindre del af elforbruget bliver til nyttigt arbejde. Derfor bør trykluft bruges med omtanke, og tryklufften bør produceres, fordeles og udnyttes så effektivt som muligt.

Pjecen beskriver, hvordan man sparer på energien til trykluft, både i dagens situation og ved projektering og indkøb af udstyr. På side 22 er der et skema, som virksomheden kan bruge til en hurtig test af, om anlægget allerede er veldrevet, eller om der er meget at gå i gang med.

Ser man på de samlede udgifter til produktion af trykluft, er hovedparten eludgifter. Det er vist i figur 1 for en 90 kW kompressor. I løbet af 40.000 driftstimer – det svarer til kompressorens første 5-10 år - bliver de samlede udgifter omkring 2,4 mio. kr. Heraf udgør eludgiften omkring 2 mio. kr. eller hele 83%.



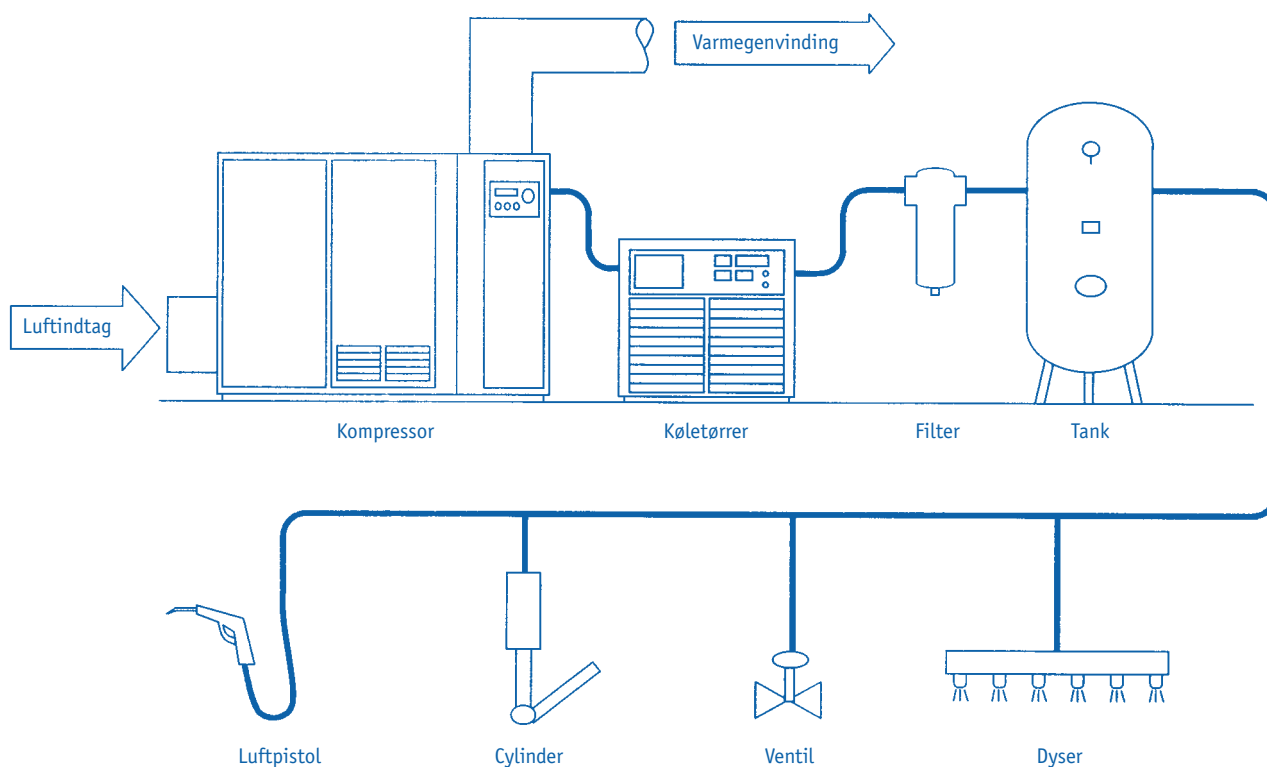
Figur 1. Samlede omkostninger til 90 kW kompressor ved 40.000 driftstimer

Alle tryk i denne pjece er overtryk, regnet i forhold til atmosfærens 1 bar.

Luftmængder angivet i  $m^3$  er normal- $m^3$ .  
For trykluft vil det sige luft ved 1 bar absolut tryk og 20°C.

I øvrigt henvises til den internationale norm for trykluft, ISO 1217 Annex C.

# Energibesparelser på eksisterende anlæg



Figur 2. Principskitse af trykluftanlæg

Mulighederne for at spare på energien i eksisterende anlæg er opdelt på de enkelte anlægsdele, fra luftindtaget over kompressor, luftbehandling, fordelingsnet, trykluftbrugere og til varmegenivinding. Desuden er der på side 13-15 beskrevet, hvordan man gennemfører et energicheck af sit trykluftanlæg, og på siderne 18-21 er der eksempler på konkrete energibesparelser i fem virksomheder.

## Luftindtag

Luften til kompressoren skal være så kold som mulig for at opnå en god drift og energieffektivitet. Man må

dog ikke suge for kold luft ind i kompressoren, da det giver risiko for isdannelse.

## Kompressorer

Energiforbruget til fremstilling af trykluft afhænger af trykket som vist i figur 3. Figuren viser det praktisk opnåelige elforbrug. (Der er forudsat indtag af luft ved 20°C og 65% relativ fugtighed). Af figuren ses, at 1 m<sup>3</sup> luft ved 7 bar kan fremstilles for et elforbrug på 0,110 kWh. Skal luften være 8 bar i stedet for 7 bar, bliver elforbruget 8% højere.

### Hvor finder jeg nøgletallene?

Kompressorens specifikke elforbrug og dens aflasteffekt findes normalt ikke i leverandørernes brochurer. Derfor må man bede om oplysningerne fra leverandøren. Får man den optagne effekt oplyst, beregnes det specifikke elforbrug som

$$\text{specifikt elforbrug (kWh/m}^3\text{)} = \frac{\text{optagen effekt (kW)}}{(\text{luftydelse (m}^3\text{/min.)} \cdot 60 \text{ (min./h)})}$$

En kompressors elforbrug afhænger ikke kun af det specifikke elforbrug (kWh/m<sup>3</sup>), men også af effekten i aflastet drift (tomgang), idet de fleste kompressorer reguleres ved at køre en blanding af belastet og aflastet drift. Tabel 1 viser disse nøgletal for de mest almindelige kompressortyper.

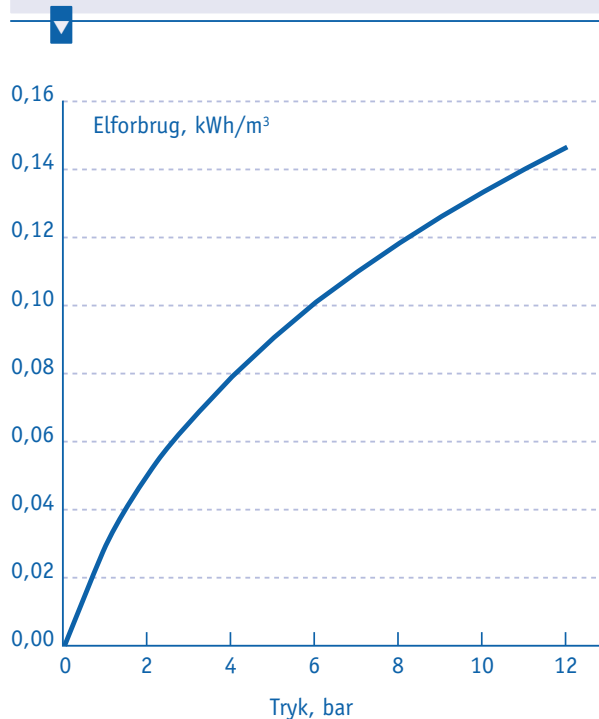
#### Regulering af kompressoren

I praksis afhænger en kompressors elforbrug også af, hvordan ydelsen tilpasses det aktuelle luftforbrug, dvs. om kompressoren er frekvensreguleret, kører modulerende eller belastet-aflastet. For en oliesmurt skruekompressor, der kører belastet-aflastet, afhænger elforbruget yderligere af længden af aflast-perioderne og dermed bl.a. af trykluftnettets rumfang (inklusive rumfanget af trykluftbeholdere).

Figur 4 viser den optagne eleffekt for en oliesmurt og en oliefri skruekompressor, der kører belastet-aflastet. Den oliesmurte kompressors effekt falder langsomt under aflast og når ofte slet ikke ned på den permanente aflasteffekt (typisk 25%), før kompressoren belastes igen. En oliefri kompressor aflaster derimod meget hurtigt, på 1-2 sekunder, og bruger dermed langt mindre energi under aflast. En 2-trins stempelkompressor aflaster på samme måde som den oliefri skruekompressor, blot er aflasteffekten typisk lidt lavere.

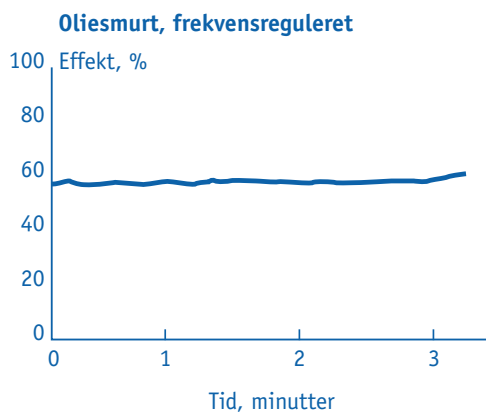
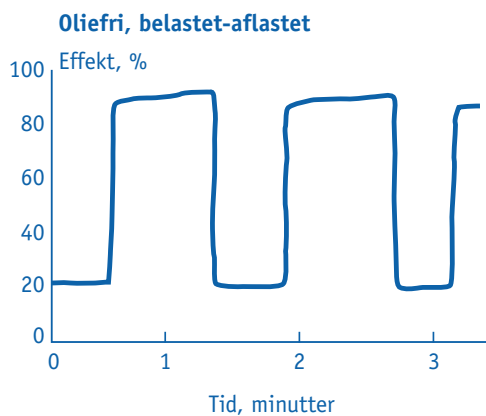
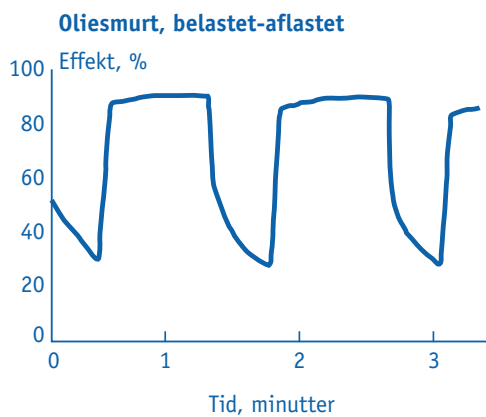
Figur 4 viser også den optagne effekt for en oliesmurt kompressor, der frekvensreguleres. Med frekvensre-

Figur 3. Praktisk opnåeligt elforbrug til produktion af trykluft



Tabel 1. Typiske nøgletal for forskellige kompressortyper (inklusive oliepumpe og ventilator)

Kompressortype	Tryk bar	Elforbrug kWh/m <sup>3</sup>	Aflasteffekt i % af fuldlast
Oliesmurt skruekompressor	7	0,110	25
Olfri skruekompressor	7	0,110	20
Stempelkompressor, 2-trins	7	0,110	12
Lamelkompressor	7	0,130	50
Kapselblæser	1	0,038	100
Centrifugalkompressor (med forrotation)	1	0,030	60



Figur 4. Optagen eleffekt for oliesmurt og oliefri skruekompressor ved belastet-aflastet drift samt for oliesmurt kompressor med frekvensregulering

gulingen (eller omdrejningstalsregulering) tilpasses ydelsen løbende til forbruget, og middeffekten bliver væsentlig lavere end ved belastet-aflastet drift.

Figur 5 viser typiske eleffekter i dellast for de mest udbredte kompressortyper og de mest almindelige reguleringsformer. Ved 50% luftydelse er kompressorens ideelle eleffekt 50%, men figur 5 viser, at effekten i praksis er væsentlig større for især oliesmurt skruekompressor.

#### Styring af flere kompressorer

Der kan ofte spares energi ved at have flere mindre kompressorer i stedet for en enkelt stor. Det aktuelle behov for trykluft dækkes så af en eller flere kompressorer, hvoraf kun én kører dellast, mens de øvrige er fuldt belastede. Er en af kompressorerne frekvensreguleret, lader man denne køre dellast, og ellers lægges dellasten på den mindste af de idriftværende.

I figur 6 er der vist, hvordan tre kompressorer af forskellig størrelse kan dække trykluftebehovet igennem et døgn. Er forholdet mellem kompressorernes luftydelse 1:2:4 – sådan som vist i eksemplet i figur 6 – bliver det muligt at opnå en god tilpasning af kompressorydelsen til det aktuelle behov.

Producers der med flere kompressorer, vil ind- og udkoblingen af kompressorerne kunne ske med

- kaskadestyring
- overordnet styring

Ved kaskadestyring kobler kompressorerne ind og ud ved bestemte tryk, som ligger i kaskade under hinanden. Kaskadestyringen er simpel, men indebærer, at kompressorerne en stor del af tiden arbejder ved højere tryk end nødvendigt og dermed bruger unødigt megen energi.

Med en overordnet styring kobles kompressorerne ind og ud på de tidspunkter, der energimæssigt set er bedst. Ind- og udkoblingerne kan eksempelvis styres af den hastighed, hvormed beholdertrykket ændrer

sig, således at en langsom ændring betyder, at en lille kompressor ind- eller udkobles, mens en hurtigere ændring medfører betjening af en større kompressor. Med overordnet styring kan arbejdstrykket til stadighed holdes lavt, og da kompressorerne også aflaster mindre, bliver elforbruget mindre.

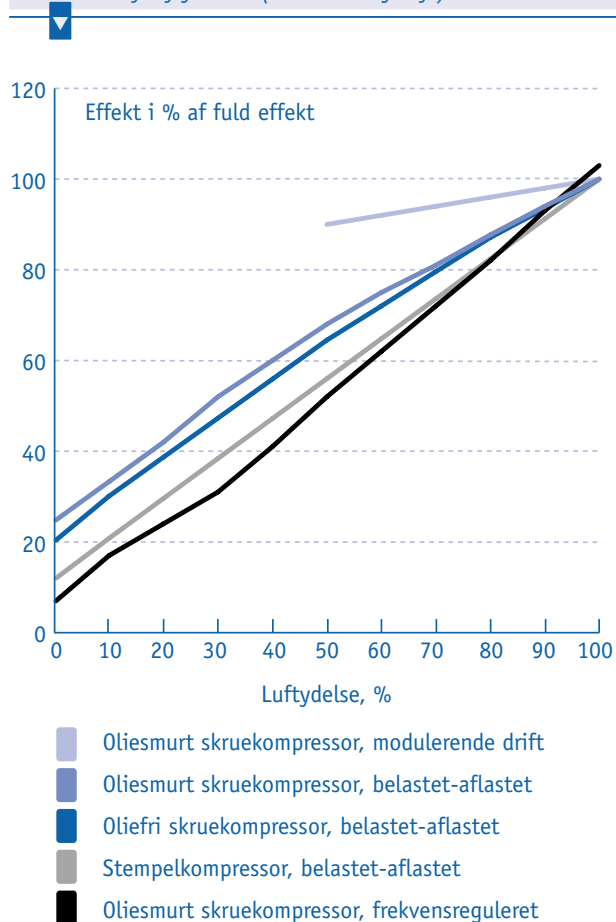
#### Produktionstryk

Trykket i kompressorcentralen sættes så højt, at alle forbrugere med sikkerhed har det ønskede tryk. Det betyder, at trykket ofte er højere end nødvendigt. En måling af trykket "hos den yderste forbruger" kan muliggøre, at produktionstrykket løbende holdes på det lavest acceptable.

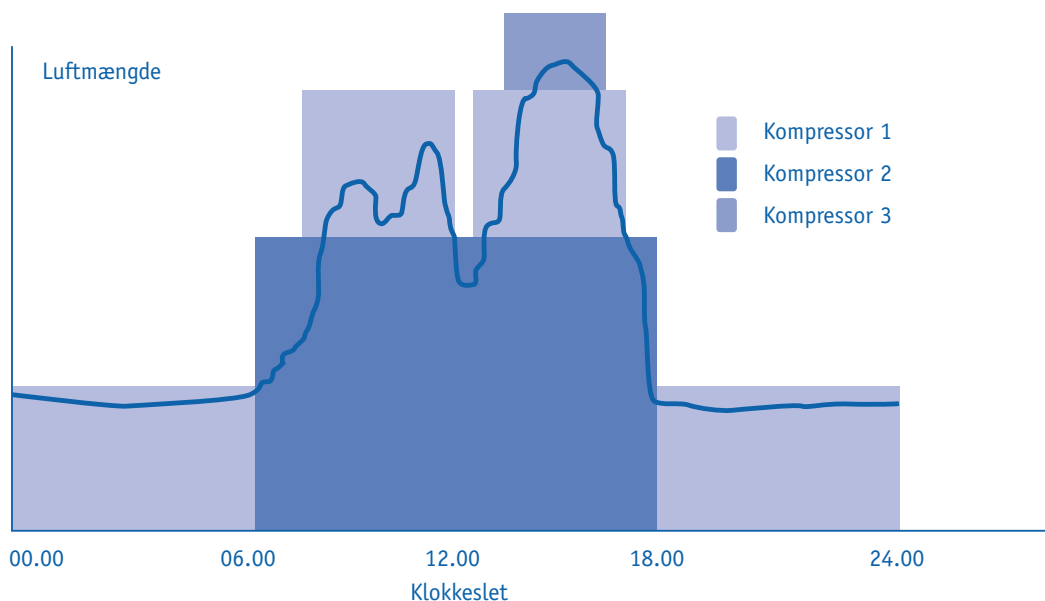
Er der stor forskel i de trykbehov, som de forskellige forbrugere har, bør der som minimum installeres tryk-reduktionsventiler (se s. 10) ved forbrugerne med lavest trykbehov.

I mange tilfælde kan det imidlertid betale sig at producere og forsyne ved flere forskellige tryk, således at man eksempelvis både har et 7 bar net og et 3 bar net. Besparelserne ved at producere noget af luften ved et lavere tryk skal holdes op mod de ekstra investeringer og et eventuelt øget elforbrug som følge af mere dellastkørsel.

Figur 5. Kompressorens gennemsnitlige eleffekt som funktion af luftydelsen (ved 7 bar trykluft).



Figur 6. Eksempel på, hvordan tre kompressorer dækker et varierende behov for trykluft



## Luftbehandling

Inden trykluft sendes ud i fordelingsnettet, skal den tørres og renses. Fugt i trykluft udkondenserer let og er årsag til mange problemer. Derfor er det vigtigt, at luften tørres godt, især hvis der er rørføringer udendørs.

Trykdugpunktet angiver, hvor tør luften er. Trykdugpunktet er den temperatur, ved hvilken vanddampen i trykluft begynder at kondensere. Jo lavere trykdugpunkt, jo tørrere trykluft.

Tørring og rensning af luften medfører dels et direkte energiforbrug til tørreren og dels et indirekte forbrug som følge af trykfaldet over tørrer og filtre. Trykfaldene i luftbehandlingen kan være ganske store og medføre indirekte elforbrug op til 10-20%

Typiske data for udstyrets tryktab og energiforbrug er vist i tabel 2.

Hvis det er tilstrækkeligt at tørre trykluft med en køletørrer, bør denne foretrækkes for en adsorptions-tørrer, der regenererer med trykluft.

Tabel 2. Typiske data for filtre og tørrere for 7 bar lufttryk

Komponent	Tryktab bar	Direkte energiforbrug kWh/m <sup>3</sup>
Filter (rent-tilsmudset)	0,1-0,5	-
Køletørrer	0,15	4 Wh/m <sup>3</sup>
Adsorptionstørrer med kold regenerering	0,15	4 Wh/m <sup>3</sup> + omkring 15% af trykluftkapaciteten
Adsorptionstørrer, regenerering med varme fra oliefri kompressor	0,15	0,1 Wh/m <sup>3</sup> + genvunden kompressorvarme

## Rimeligt beholdervolumen

For en oliesmurt skruekompressor, der kører belastet-afloadet, opnås et lavt elforbrug under aflast, hvis voluminet af beholdere plus røret opfylder følgende:

$$\text{Samlet volumen (m}^3\text{)} \geq \text{største kompressors kapacitet (m}^3\text{/min.)} : (3 \times \text{differenstrykket (bar)})$$

Er den største kompressor på 21 m<sup>3</sup>/min. og arbejder den med et differenstryk (aflasttryk-pålasttryk) på 0,7 bar, bliver udtrykket:

$$\text{Samlet volumen (m}^3\text{)} \geq 21 : (3 \cdot 0,7) \text{ eller } 10,0$$

Er fordelingsnettets volumen 3,5 m<sup>3</sup> bør der være beholdere på i alt mindst 6,5 m<sup>3</sup>.

Efter tørrere og filtre er der normalt placeret en trykluftbeholder til delvis udjævning af variationer i trykluftproduktion og -forbrug. Energimæssigt set er beholderen særlig vigtig i forbindelse med oliesmurt skruekompressor (se figur 4), idet øget beholdervolumen betyder, at aflasteffekten falder længere ned, inden kompressorerne igen belastes.

## Fordelingsnet

Tryktabet i 7 bar stålør er vist i figur 7.

Tryktabet er omvendt proportionalt med det absolutte tryk. I et 3 bar system vil tryktabet således være dobbelt så stort som vist i figur 7 for 7 bar systemet. (De absolutte tryk er henholdsvis 4 og 8 bar).

Tryktabet i fordelingsnettet bør holdes på et lavt niveau, helst under 0,2 bar, regnet fra kompressorcentralen (målt efter filtre og tørrere) ud til forbrugsstederne. Det vigtigste er at benytte rør med stor diameter. Dernæst er det vigtigt med korte rørstrækninger, bløde bøjninger samt ventiler af typen kugle- eller



### Energitab på grund af lækager

Tabet gennem et hul med 5 mm diameter i et 6 bar trykluftnet er 1,5 m<sup>3</sup>/min. (tabel 3). Det svarer ifølge tabellen til en kompressoreffekt på 9,4 kW. Er nettet tryksat hele året rundt, bliver elforbruget til produktion af lækage-trykluft 82 MWh/år, svarende til en udgift på omkring 41.000 kr. årligt.

Er hullet ikke cirkelformet, bliver tabene skønsmæssigt 35% lavere.

Betyder en besparelse i lækagetabene, at kompressoren kører mere aflastet, bliver elforbruget som følge af tabene 20-30% lavere end de 82 MWh/år eller ca. 60 MWh/år.

skydeventil. Tryktabet kan reduceres yderligere ved at benytte ringledninger og ved at etablere luftbeholdere tæt på forbrugere, der med mellemrum aftager store mængder luft.

En lækage i form af et lille hul eller en revne medfører store tab af trykluft, se tabel 3.

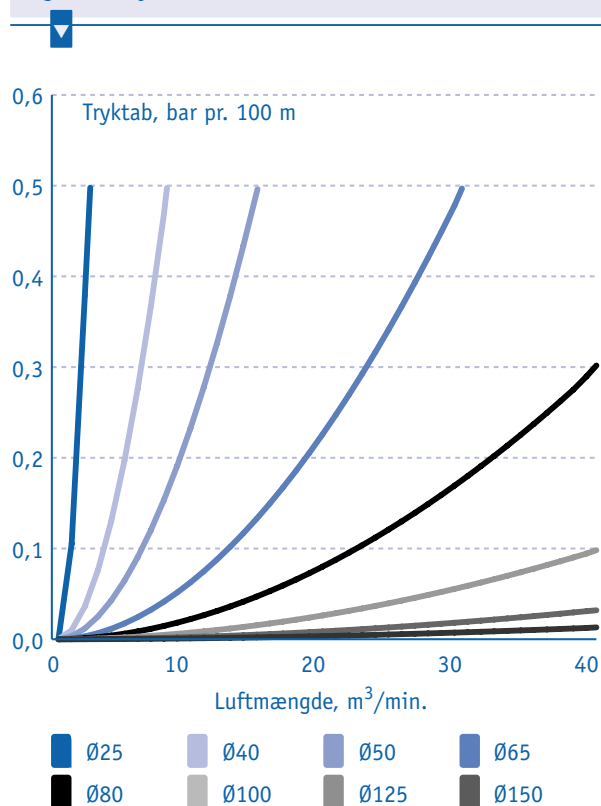
Lækagetab optræder især i lynkoblinger, flexslanger, trykluftpistoler og i ventiler, som derfor bør kontrolleres jævnligt. Lækagetabet kan også mindskes ved at frakoble maskiner og netsektioner, når de ikke bruges i længere tid. Tabet kan endvidere mindskes ved at køre med lavest mulige tryklufttryk og stoppe anlægget helt, når der ikke er behov for luft.

Lækagetabet bør holdes under 10% af den producerede trykluftmængde. Typisk bør man gennemgå nettet for lækager to til fire gange årligt.

### Trykluftbrugere

Dyser til beluftning, renblæsning, pneumatisk transport m.m. står for over halvdelen af industriens trykluftforbrug. Andre store luftforbrugere er trykluftcylindre i løfteborde, maskiner, spjæld osv. og trykluftmotorer i bl.a. håndværktøjer.

Figur 7. Tryktab i stålør



Tabel 3. Lækagetab gennem hul i trykluftforsyningen. Hullet regnes for cirkulæret og skarpkantet. Tabet er angivet som m<sup>3</sup>/min. trykluft og er omregnet til kW kompressoreffekt.

Huldiameter mm	4 bar		6 bar		8 bar	
	m <sup>3</sup> /min.	kW	m <sup>3</sup> /min.	kW	m <sup>3</sup> /min.	kW
1	0,04	0,2	0,06	0,4	0,08	0,6
5	1,1	5,4	1,5	9,4	2,0	14,6
10	4,3	21,0	6,0	37,0	7,8	57,0

Tabel 4. *Eksempler på substitution af trykluft med mere energieffektive løsninger*

Trykluft-anvendelse	Kan substitueres med
Renblæsning	Blæser, mekanisk rengøring
Tørring, køling	Blæser
Vakuüm-ejektor	Vakuumpumpe
Trykluftcylinder	Elektrisk aktuator, hydraulikcylinder
Positionering, spjældindstilling	Direkte eldrev, stepmotor
Trykluftmotor	Elmotor
Håndværktøj	Elektrisk drevet værktøj

I en række tilfælde kan trykluftudstyr substitueres med andet udstyr, sådan som der er vist eksempler på i tabel 4.

#### **Trykreduktionsventiler**

Hvis en cylinder kan arbejde med 4 bar luft, men forsynes med 7 bar, bruger den  $(7+1) : (4 + 1) = 1,6$  gange eller 60% mere luft end nødvendigt. Er slagvoluminet 6 l, bruger den 48 l pr. bevægelse med 7 bar og 30 l med 4 bar luft. Er der 4 bevægelser i minuttet og arbejder cylinderen 5.000 timer pr. år bliver luftbesparelsen

$$(48-30) \text{ l} \cdot 4/\text{min.} \cdot 60 \text{ min./h} \cdot 5.000 \text{ h/år} \\ = 2.160 \text{ m}^3/\text{år}$$

Det svarer til et elforbrug på ca. 240 kWh/år eller omkring 120 kr. årligt. Investeringen i trykreduktionsventilen vil være tjent hjem på et til to år.

En sammenligning mellem to løsninger henholdsvis med og uden brug af trykluft bør ske ud fra totaløkonomien, og bør naturligvis også inddrage produktivitet, ergonomi osv.

Det trykluftdrevne udstyr bør forsynes med det lavest mulige tryk. Eksempelvis kan mange dyser arbejde udmærket ved 4 bar, og til rengøring er 3 bar ofte nok. For at spare på luften kan man drive nettet ved det lave tryk eller sætte en trykreduktionsventil op foran udstyret.

Det trykluftdrevne udstyr skal bruge mindst muligt luft. Specielt for dyser kan der være gode besparelsesmuligheder ved at vælge et dysehoved tilpasset den aktuelle opgave og placere det optimalt. Kan en enkeltvirkende trykluftcylinder benyttes, bør den foretrækkes for en dobbeltvirkende (der bruger trykluft til bevægelse i begge retninger).

#### **Varmegenvinding**

60-80% af kompressorernes elforbrug kan genvindes som varme. Varmen kan enten være i form af varm luft, der er op til 50°C varm, eller det kan være varmt vand, op til 80-95°C. Varmen kan eksempelvis udnyttes til rumopvarmning, og det varme vand kan også udnyttes i produktionen, til forvarmning af kedelfødevand og lignende.

Varmegenvindingen er billigst at etablere, hvis kompressorerne er anskaffet med varmegenvindingssystem, men der kan også være god økonomi i at etablere varmegenvinding, selv om kompressorerne ikke er "født" med systemet. Figur 8 viser tilbagebetalingstiden for varmegenvinding, der etableres på en trykluftkompressor, som ikke har varmegenvindingssystem. Tilbagebetalingstiden er vist som funktion af kompressoreffekten og udnyttelsesgraden, dvs. hvor stor en del af den potentielle genbrugsvarme – opgjort som 70% af elforbruget ved fuld kompressorydelse året igennem – der udnyttes. Værdien af den sparede varme er sat til 44 øre/kWh, og der er regnet med, at der skal betales 52,5 kr./GJ i afgift af genbrugsvarmen.

### Opgørelse af tilbagebetalingstiden ved varmegenvinding

Det overvejes at etablere vandbåren varmegenvinding fra en 55 kW trykluftkompressor uden varmegenvindingssystem.

Er kompressorens optagne eleffekt 55 kW er dens forbrug ved fuld ydelse i alle årets timer

$$55 \text{ kW} \cdot 8.760 \text{ h/år} = 482.000 \text{ kWh/år}$$

Hvis kompressoren kun kører 7.000 timer årligt og heraf aflastet ved gennemsnitlig 18 kW i 40% af tiden, er den optagne energi

$$(55 \text{ kW} \cdot 0,6 + 18 \text{ kW} \cdot 0,4) \cdot 7.000 \text{ h/år} = 281.000 \text{ kWh/år}$$

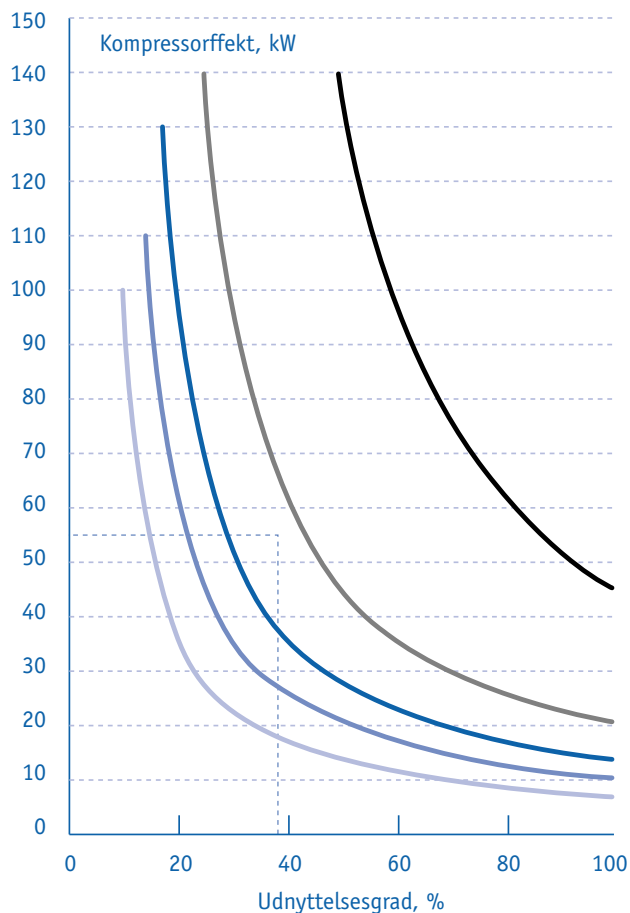
Kan varmen udnyttes i 65% af tiden, bliver udnyttelsesgraden  $(281.000 \cdot 0,65) : 482.000 = 38\%$ .

Af figur 8 kan tilbagebetalingstiden nu findes til ca. 2,4 år. Den udnyttede genbrugsvarme bliver  $281.000 \text{ kWh/år} \cdot 0,65 \cdot 0,7 = 128.000 \text{ kWh/år}$ , idet 70% af elforbruget forudsættes genvundet som varme.

Afgiften på varmegenvinding er i år 2002 52,5 kr. pr. GJ nyttiggjort varme, forudsat kompressorens elforbrug afregnes som let proces og varmen udnyttes som rumvarme eller varmt vand. Der betales ikke afgift i sommerhalvåret, og der betales kun afgift ved "særlige installationer, indrettet til indvinding af varme". Afgiftsmæssigt kan det således være fordelagtigt at anbringe kompressoren i et stort produktionslokale, hvor tabsvarmen kan udnyttes direkte.

Nyttiggøres varmen som varm luft, kan energiindholdet enten måles eller beregnes som 2 gange energiforbruget i de anlæg, der transporterer luften (dvs. 2 gange ventilatorens elforbrug). Sidstnævnte måde vil normalt være den mest fordelagtige.

Figur 8. Typiske tilbagebetalingstider ved varmegenvinding (luftbåren eller vandbåren) fra trykluftkompressor uden "medfødt" varmegenvindingssystem. I figuren er indtegnet hjælpelinier til eksemplet i venstre kolonne.



- T = 1 år
- T = 2 år
- T = 3 år
- T = 4 år
- T = 6 år

# Drift og vedligehold

## Driftsjournal

Ugentligt eller månedligt registreres følgende oplysninger om hver kompressor:

- antal driftstimer
- antal belastet-timer (hvis kompressoren kører belastet-aflastet og der er timetæller herfor)
- tryk (f.eks. højeste produktionstryk)

Desuden registreres:

- tryk på centrale luftbeholder (når produktionstryk er højest)

Hvor det er muligt registreres også:

- tryk ude i nettet
- elforbrug pr. kompressor eller samlet
- luftproduktion

## Nøgletal

Ugentligt eller månedligt beregnes og vurderes følgende nøgletal for perioden:

Omfanget af belastet-kørsel (%) =  
belastet-timer : driftstimer

Trykfald i luftbehandlingen (bar) =  
kompressortryk – beholdertryk

Trykfald i nettet (bar) =  
beholdertryk – tryk ude i nettet

Om muligt opgøres også:

Kompressor- og/eller anlægseffektiviteten (kWh/m<sup>3</sup>) =  
elforbrug : luftproduktion

Sidstnævnte kan opgøres for perioden og for et eventuelt kortere forløb med fuld belastning.

## Overvågning og kontrol

For at sikre den bedst mulige udnyttelse af energien bør der jævnligt følges op på trykluftanlæggets drift. Der bør føres en driftsjournal, og anlæggets effektivitet bør kontrolleres ud fra bl.a. nøgletal.

## Vedligehold

Vedligeholdelse omfatter service på kompressorerne, udskiftning af filtre og udbedring af lækager i nettet.

Lækagesøgningen bør typisk gennemføres to til fire gange årligt. Det kan indledes med, at lækagetabet bestemmes ved at holde kompressorstationen i drift i en periode, hvor virksomheden ikke producerer. Der skal være luftforsyning til alle forbrugssteder. (Er der udstyr, som altid bruger luft, må det dog kobles fra). I den situation går hele luftproduktionen til lækagetab. Er der kun én kompressor i drift og kører den belastet-aflastet, kan lækagetabet herefter opgøres som vist i figur 9.

Årligt elforbrug til lækagetab =  $L \cdot P \cdot DT$

Hvor  
$$L = \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5)}{T}$$

$P$  = den benyttede kompressors eleffekt ved belastet drift (kW)

$DT$  = trykluftsystemets årlige driftstid (timer)

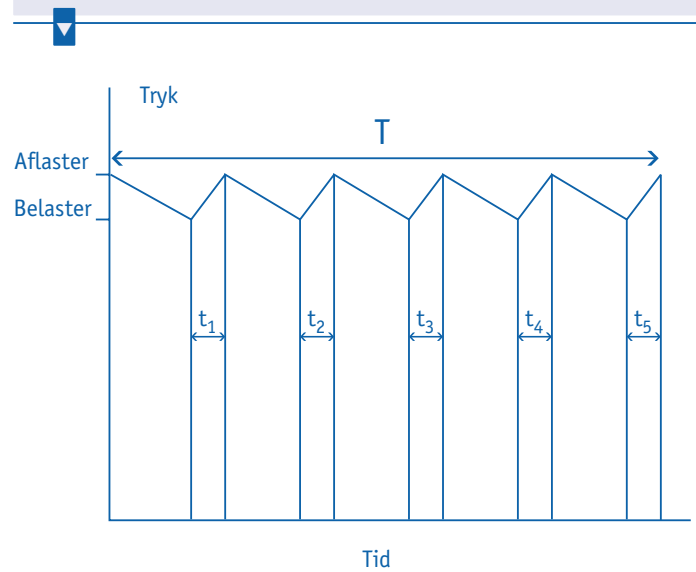
Lækagerne skal især søges i lynkoblinger, flexslanger, trykluftpistoler og ventiler. Når produktionen ligger stille kan man lytte sig frem til de større lækager, men det bedste resultat opnås ved brug af en ultralydsmåler.

### Energicheck af trykluftanlæg

Det er en god ide at gennemføre et simpelt energicheck en gang om året, samt når der overvejes køb af ny kompressor m.m. Dette energicheck kan normalt udføres af virksomheden selv. Det kan eventuelt følges op med en driftsanalyse med målinger af luftproduktionen over en repræsentativ periode, udført af eksempelvis kompressorleverandøren.

Energichecket gennemføres med brug af skemaet på side 14.

Figur 9. Bestemmelse af lækagetab



# SKEMA TIL ENERGICHECK AF TRYKLUFATANLÆG

Anlæg:	Udført d.:	Af:				
<b>KOMPRESSORERNE</b>						
			<b>Kompressor 1</b>	<b>Kompressor 2</b>	<b>Kompressor 3</b>	<b>Note</b>
<b>Kompressorernes belastningsgrad (for kompressorer, der kører belastet-aflastet)</b>						
Kapacitet (m <sup>3</sup> /min.)	K					1
Belastet-timer	B					1
Driftstimer	D					1
Belastningsgrad = B : D						
Er belastningsgraden mindre end 0,6?						1
<b>Kompressorernes effektivitet</b>						
Elforbrug (kWh)	E					2
Luftproduktion (m <sup>3</sup> )	F					2
Vurdering, når F kendes:						
Specifikt elforbrug (kWh/m <sup>3</sup> ) = E : F						
Alternativ vurdering: Spec. elforbrug (kWh/m <sup>3</sup> ) = E : ((B+(D-B) · A) · K · 60)						3
Er spec. elforbrug større end 0,12 kWh/m <sup>3</sup> ?						4
<b>Kompressorernes regulering</b>						
Benyttes modulerende drift?						5
Typisk varighed af aflast-perioder (sek.)						6
<b>DET ØVRIGE ANLÆG</b>						
<b>Kompressortryk</b>						
Højeste produktionstryk (bar)	H					
Krav til lufttryk hos forbrugerne (bar)	I					
Er H-I over 1,5 bar?						7
<b>Trykfald over luftbehandlingen og fordelingsnettet</b>						
Lufttryk ved kompressorer (bar)	J					8
Lufttryk efter luftbehandling (bar)	M					8
Lufttryk i "fjerneste ender" (bar)	O					8
Er J-M større end 0,5 bar?						9
Er M-O større end 0,3 bar?						10
<b>Lækagetab</b>						
Sum af belastet-tid (sek.)	t					11
Måleperiode (sek.)	T					
Relativ belastet-tid = t : T	L					
Benyttede kompressors eleffekt (kW)	P					
Systemets årlige driftstid (timer)	DT					
Elforbrug til lækagetab (kWh/år) = L · P · DT						12
<b>Behov for trykluft</b>						
Kan trykluft-dyser udskiftes med andre dyser med mindre luftforbrug og/eller tryk?						13
Kan trykluftcylindre og -værktøjer udskiftes med elaktuatorer og eldrevne værktøjer?						14
Er der trykreduktionsventiler foran alt udstyr, som kan arbejde ved lavere tryk?						15
Benyttes trykluft til at renblæse eller køle med?						16
<b>Varmegenvinding</b>						
Udnyttes kompressorernes tabsvarme?						17
<b>Overvågning og vedligehold</b>						
Føres der driftsjournal over timetællere, tryk m.m.?						18
Er der regelmæssig service på anlægget?						18

1. Timetallene opgøres ud fra driftsjournalen eller ved aflæsning direkte på kompressorernes timetællere. Timetallene skal dække en repræsentativ periode, f.eks. en måned.

Hvis en kompressor er belastet mindre end 60% af driftstiden (belastningsgrad under 0,6) bør det overvejes at supplere med en mindre kompressor eller udskifte med en kompressor med omdrejningstalsregulering.

2. Hvis der er elmåler på en kompressor eller fælles for flere kompressorer, noteres forbruget over en periode. Tilsvarende noteres luftproduktionen, hvis denne måles. Måles luftforbruget ikke, benyttes den næste opgørelse i skemaet.

3. Ved den alternative vurdering benyttes timetal for den periode, som elforbruget er målt over. Den alternative vurdering kan gennemføres for en kompressor, uden at luftproduktionen er målt. Der tages hensyn til elforbruget under aflastet drift, idet aflast-timetallet multipliceres med

$A = 0,30$  for oliesmurt skruekompressor

$A = 0,20$  for oliefri skruekompressor

$A = 0,12$  for stempelkompressor

4. Ved 7 bar bør det specifikke elforbrug ligge under  $0,12 \text{ kWh/m}^3$ . For andre tryk henvises til figur 3. Er det specifikke elforbrug større, bør en mere energieffektiv kompressor overvejes. Årsagen kan dog også være, at kompressoren kører meget aflastet. Dette tager kun den alternative vurdering højde for.

5. Hvis kompressoren kører modulerende og forholdsvis ofte er belastet under 90% af den fulde ydelse, bør en anden regulering overvejes.

6. For en oliesmurt skruekompressor, der reguleres ved belastet-aflastet drift og aflaster meget (over 20%

af driftstiden), bør de typiske aflastperioder være på mindst 20 sek. Er de kortere, bør et større beholdervolumen, større trykdifferens eller omdrejningstalsregulering overvejes.

7. Hvis en af kompressorerne arbejder med et tryk, der er mere end 1,5 bar højere end det krævede tryk på forbrugsstederne, bør det overvejes at sænke trykket. Muligheden kan afprøves ved i en repræsentativ periode at sænke trykket f.eks. 0,5 bar. Kan trykket ikke sænkes (yderligere), bør det overvejes at reducere trykforskellen mellem belastning og aflastning af den enkelte kompressor, eventuelt – for oliesmurt kompressorer – kombineret med større beholdervolumen. Ved kaskaderegulering bør en "overordnet styring" også overvejes.

Hvis et forholdsvis højt tryk kun er krævet af nogle få forbrugere, bør det overvejes at forsyne disse med en separat kompressor.

8. På et tidspunkt med stor og ret konstant luftproduktion noteres lufttrykkene på kompressorerne, efter luftbehandlingen (f.eks. på den centrale trykluftbeholder) og i trykluftnettets "fjerneste ender". Hvis trykket varierer med belastning-aflastning af en kompressor, kan man notere de største tryk de forskellige steder. Måleusikkerheden reduceres, hvis man kan benytte samme manometer til alle målinger.

9. Er trykfaldet i luftbehandlingen større end 0,5 bar, bør filtrene skiftes, eller det bør overvejes at udbygge filter- og tørrekapaciteten.

10. Er trykfaldet i fordelingsnettet over 0,3 bar, bør det overvejes at udbygge nettet. Muligheder er bl.a. en ringledning, et større ledningstværsnit og luftbeholdere ved forbrugere, der har et stærkt og hurtigt svingende luftbehov.

11. Lækagetabet opgøres som vist i figur 9 og beskrevet i den tilhørende tekst.

Dækkes lækagetabet ikke af en kompressor i belastet-aflastet drift, men af en frekvensreguleret kompressor, bliver

$L = \text{kompressorens relative belastning (opgjort f.eks. som frekvensen (Hz) : 50)}$ .

12. Elforbruget til lækagetab bør holdes under 10% af kompressorernes samlede elforbrug til produktion af trykluft. Sidstnævnte findes ved at beregne elforbruget til trykluftproduktion pr. kompressor – det er kompressoreffekt · belastet timer – og lægge forbrugene sammen.

Er lækagetabet væsentligt over 10%, bør der igangsættes en lækagesøgning.

13. Hvis ja, bør det overvejes at skifte dyserne.

14. Hvis ja, bør det overvejes at benytte eldrevne løsninger, når det pågældende udstyr alligevel skal udskiftes. Der er sjældent økonomi i at skifte brugbart udstyr.

15. Hvis ikke, bør det overvejes at montere ventiler.

16. Hvis ja, bør det overvejes at benytte ventilatorer eller andre løsninger i stedet.

17. Hvis ikke, bør det overvejes at flytte en eller flere kompressorer til lokaler, hvor tabsvarmen kan udnyttes. For kompressorer over ca. 20 kW kan det også overvejes at udnytte tabsvarmen via et vandbåret eller luftbåret system.

18. Hvis ikke, bør det overvejes.

# Projektering og indkøb

## Projektering

Energibevidst projektering af et trykluftanlæg tager udgangspunkt i en analyse af behovet. Den falder i to dele, hvor første del er en analyse af, om det er optimalt at bruge trykluft, eller om andre løsninger – direkte eldrev, blæsere, vandhydraulik osv. kan dække behovet på en mere energieffektiv måde. Hvis det er optimalt at bruge trykluft, omfatter anden del af behovsanalysen en vurdering af, hvor små luftmængder og hvor lave tryk, man kan nøjes med.

Ved skitseprojekteringen af et nyt anlæg eller en anlægsudvidelse skal der herefter tages stilling til, om der skal være et eller flere trykniveauer, og om der skal være separat forsyning af udstyr med særlige trykkrav eller driftstider.

Der skal også besluttes, hvordan kompressorcentralen (eller decentrale kompressorstationer) skal bestykkes og styres, dvs. der skal tages stilling til:

- kompressortyper, herunder for skruekompressorer, om de skal være oliefri eller oliesmurte
- en eller flere kompressorer
- kaskadestyring eller overordnet styring
- om en kompressor skal frekvensreguleres

Ved opbygningen af nettet er det vigtigt at sikre små trykfald. Det betyder især store rørdiametre, idet trykfaldet er omvendt proportionalt med diameteren i 5. potens og således bliver 32 gange større, hvis diameteren halveres. En opdeling af nettet i sektioner vil begrænse lækagetabet, hvis forsyningen til en sektion afbrydes, når der ikke er brug for trykluft. Det kan eventuelt også muliggøre, at nogle sektioner drives ved lavere tryk.

Under skitseprojektet skal man også overveje varmegenvinding, da det kan indvirke på placeringen af kompressorerne. Den fremtidige overvågning og kontrol skal ligeledes vurderes, og større kompressorcentraler bør udstyres med en eller flere elmålere på kompressoren samt en eller flere luftmængdemålere.

## Indkøb

Det er især ved indkøb af kompressorer og luftforbrugende udstyr, at man kan påvirke trykluftanlæggets energiforbrug.

For en **kompressor** bør man ved indhentning af tilbud bede leverandøren oplyse om kompressorens specifikke elforbrug (kWh/m<sup>3</sup>) og aflasteffekt. Desuden bør leverandøren beregne det årlige elforbrug til kompressoren og til mindst én alternativ løsning med lavere elforbrug. Beregningen udføres under forudsætning af et typisk belastningsmønster. Beregningen bruges til at opgøre kompressorens totaløkonomi, så man kan vælge den bedste løsning.

For **filtre** og **tørre** skal man have oplyst tryktabet over komponenterne samt – for tørre – det direkte energiforbrug.

Trykfaldet over **ventiler** skal være mindst muligt. Derfor bør der normalt benyttes kugleventiler.

For **luftforbrugende udstyr** generelt gælder, at der bør være afspærringsventiler foran udstyret, som automatisk lukker for lufttilførslen, når udstyret ikke er i drift. Kan udstyret nøjes med et lavere tryk end nettrykket, bør der også være en trykreduktionsventil.



Der bør stilles krav om, at det trykluftforbrugende udstyr kan arbejde ved et rimeligt tryk, f.eks. 5 bar. Ved nye anlæg muliggør det et lavt anlægstryk, og i eksisterende anlæg giver det mulighed for, at forsyningstrykket med tiden kan reduceres.

**Dyser** skal have en størrelse og udformning, som passer til den opgave, der skal varetages. Mange dyser er af simpel udførelse og bruger derfor megen luft.

**Trykluftcylindre** skal dimensioneres omhyggeligt til opgaven, så der bruges mindst mulig luft, og enkeltvirkende cylindre bør benyttes i størst muligt omfang.

Ydelsen af **luftmotorer** i værktøjer er meget afhængig af forsyningstrykket. Derfor bør de tilhørende slanger og koblinger m.v. være veldimensionerede, så trykfaldet bliver mindst muligt.

# Sådan sparer andre

## Ny fabrik med energieffektivt trykluftssystem

I 1999 samlede LK A/S produktionen fra fabrikkerne i Ballerup og Sorø på en ny fabrik i Ringsted. I den forbindelse videreførtes det arbejde med at spare på energien til trykluft, som var igangsat på de to fabrikker.

I Ballerup havde man således udskiftet en kaskaderegulering af tre kompressorer med en overordnet styring, der kobled kompressorer ind og ud efter det aktuelle forbrug og udviklingen i forbruget. Det gav en besparelse ved, at produktionstrykket styredes inden for 0,3 bar mod 1,5 bar med kaskaderegulering, og ved at styringen sørgede for, at der aflastedes på en lille kompressor.

I Sorø var der bl.a. gennemført besparelser ved tørringen af tryklufften, idet tryklufftforbruget i adsorptions-tørreren blev styret ud fra dugpunktet i den tørrede luft. Det sparede omkring 3,5 m<sup>3</sup>/min. trykluft, svarende til en kompressoreffekt omkring 25 kW.

På den nye fabrik i Ringsted er luftforbruget kun ca. 22 m<sup>3</sup>/min. mod i alt ca. 41 m<sup>3</sup>/min. i de to tidligere fabrikker. Besparelsen er især opnået ved, at lækagerne er reduceret til næsten ingenting. Det er sket ved at sektionere nettet, så der spærres af for tryklufftfor- syningen til de enkelte fabriksafsnit, når lyset slukkes. Desuden blev alle slangeforbindelser og lynkoblinger skiftet ved flytningen. Tilbagebetalingstiden for sek- tioneringen er opgjort til 3 år. Der er også sparet ved, at adsorptionstørreren er vakuum-regenereret og dermed ikke bruger trykluft.

I Ringsted er der etableret varmegenvinding på de kompressorer, som er mest belastede. Varmen bruges

til opvarmning af badevand, til rumopvarmning samt til forvarmning af kedel vandet. Tilbagebetalingstiden for varmegenvindingen er beregnet til godt 4 år.

## Lavere tryk og en produktion, nøje tilpasset behovet for luft

Isover, der producerer glasuld på fabrikken i Vamdrup, har over en periode på godt 10 år reduceret elforbruget til procesluft og trykluft fra 6,1 mio. kWh/år til 3,5 mio. kWh/år. Det er opnået trods stigende produktion. Besparelsen er resultatet af mange tiltag, både store og små.

Hovedparten af elforbruget gik oprindeligt til et 4 bar system, der leverede luft til fibrering af glasset samt til pneumatisk transport. Først blev forbruget af luft reduceret ved at dække behovet for blæseluft med en ventilator og ved at optimere den pneumatiske transport. Desuden sparede 20% af luften til fibreringsmaskinerne ved at driftstrykket sættes ned fra 1,5 bar til 0,9 bar. Herefter udskiftedes de oliesmurte 4 bar kompressorer med oliefri skruekompressorer ved to trykniveauer: 2,8 bar til pneumatisk transport og 2,0 bar til fibreringsluft. Sidstnævnte er det senere lykkedes at reducere til 1,3 bar.

1,3 bar systemet er bestykket med tre kompressorer, således at det varierende behov – det afhænger af antallet af spindere i drift – netop kan tilgodeses af en kombination af kompressorer, se tabel 5.

Et 0,6 bar system leverer forbrændingsluft til fibre- ringsmaskinernes gasbrændere. Tryktabet i systemet og dermed kompressor-trykket er reduceret med 0,2 bar (fra 0,8 til 0,6 bar) ved at skifte sæde og kegle i systemets reguleringsventil. Ved ombygning af syste-

mets centrifugalkompressor blev denne tilpasset det lavere tryk og fik samtidig højere ydelse, ligesom egenskaberne i dellast blev forbedret ved at indbygge forrotation. Disse ændringer resulterede i en elbesparelse på 39%.

I 7 bar systemet er forbruget af trykluft nedsat ved at fjerne to ud af fire posefiltre. En modulerende skruekompressor blev udskiftet med en mere energieffektiv kompressor med belastet-aflastet regulering.

Elforbruget er senere blevet reduceret yderligere ved at forsyne kompressoren fra en frekvensomformer, så kompressoren i dellast kører belastet, men ved lavere hastighed, og først begynder at aflaste, når luftforbruget falder under 40% af kompressorens kapacitet.

### Mindre elforbrug med frekvensregulering og fælles produktion til to net

Nobel Cigars befugter året rundt produktionslokalerne via befugtningsdyser i ventilationsanlægget. Dyserne bruger 5 bar oliefri trykluft, og den oliefri kompressor kører derfor altid, men er i gennemsnit kun belastet 30%.

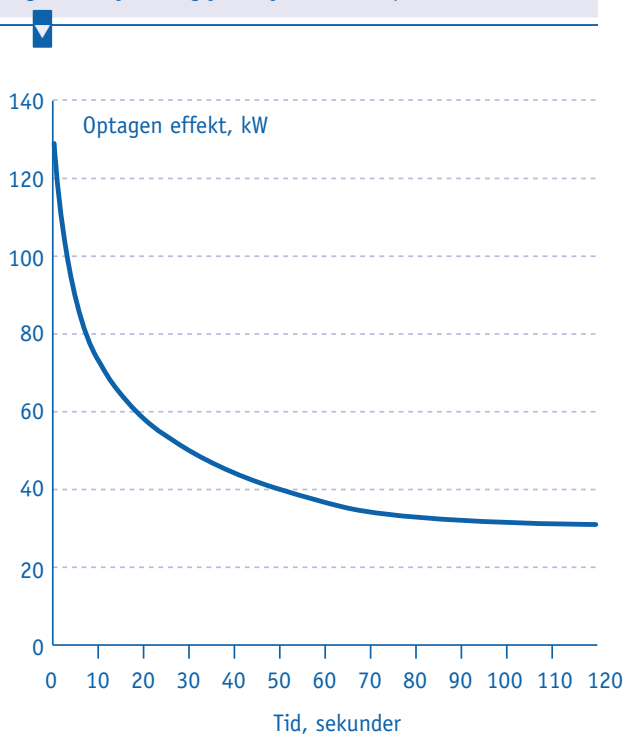
Selv om en oliefri skruekompressor meget hurtigt aflaster til 20% af fuldlasteffekten, var der alligevel et stort elforbrug i aflastet drift på grund af mange aflast-timer. Reguleringen af kompressoren blev derfor ændret fra belastet-aflastet til frekvensregulering, hvilket resulterede i en årlig elbesparelse på 80.000 kWh eller 21%. Besparelsen er opnået ved, at tomgangskørsel undgås og ved, at kompressionstrykket kan holdes på en lav og forholdsvis konstant værdi i stedet for at variere mellem pålast- og aflasttrykket.

Ud over det oliefri net har Nobel Cigars et 6,5 bar net for arbejdsluft. Ved at lade den oliefri kompressor dække behovet for luft i begge nettene, når det var muligt, sparede yderligere 50.000 kWh/år. Det var især muligt uden for normal arbejdstid, hvor begge kompressorer kørte meget aflastet. Besparelsen er opnået, selv om den oliefri kompressor må køre med et 1,2 bar højere tryk.

Tabel 5. Dækning af luftbehovet i 1,3 bar systemet i de forskellige driftssituationer

Antal spindere i drift	3	4	5	6	7
Luftforbrug, m <sup>3</sup> /min.	45	60	75	90	105
Dækkes med kompressorerne	ZA5	63	63	63	63
(angivet ved produktionen i m <sup>3</sup> /min.)	ZA4	33		33	33
	ZA3B	15	15		15

Figur 10. Aflastningsforløb for skruekompressoren



En ekstra besparelse – som der ikke er sat tal på – opnås ved, at kompressortrykket styres efter trykket ude i nettets ”svageste sted”. Med måling af dette tryk kan man undgå at lægge ekstra margin ind til tryktab i filtre og fordelingsnet og kan således holde kompressortrykket så lavt som muligt.

### Større beholder og mindre luftforbrug

Hos bølgepapfabrikken SCA Packaging Taulov (tidligere Danisco Pack) har man under et demonstrationsprojekt lavet omfattende besparelser i elforbruget til trykluft.

Den oliesmurte trykluftkompressor viste sig at belaste og aflaste med meget korte intervaller. Typisk var den belastet i 8 sek. og aflastet i 4 sek. Det kunne beregnes at svare til et samlet volumen af beholder og forsyningsnet på 1,3 m<sup>3</sup>. Da beholderen alene var på 2 m<sup>3</sup>, så det forkert ud. Beholderen viste sig da også at være fuld af vand, som var udkondenseret af tryklufften, fordi beholderen står udendørs, og vandet på grund af en defekt vandudlader ikke var lukket ud. Da beholderen var tømt for vand, blev aflastperioden på typisk 10 sek. Aflastperioden kom op på typisk 40 sek. ved udskiftning af 2 m<sup>3</sup> beholderen med en på 10 m<sup>3</sup>.

Figur 10 viser, hvordan kompressoreffekten falder hen igennem aflastperioden. Aflastes der kun i 4 sek. er middeffekten under aflastning ca. 104 kW, mens den er 89 kW ved aflastning i 10 sek. og 64 kW ved aflastning i 40 sek. Det større beholdervolumen resulterede i færre, men længere aflastperioder og dermed i en elbesparelse på 48.000 kWh/år. Investeringen i beholderen var 40.000 kr. og tilbagebetalingstiden blev 1,9 år.

En stor del af tryklufften blev brugt til 46 dyser, der blæste bølgepapmaskinens optiske udstyr rent for vanddamp og støv. De brugte 4 m<sup>3</sup>/min. svarende til ca. 28 kW kompressoreffekt. Forsøg viste, at en del af dyserne kunne erstattes med en 0,75 kW ventilator og at driftstiden for de øvrige kunne reduceres, så de kun blæser 5 sek. pr. minut. Det gav en elbesparelse på 88% eller 52.000 kWh/år. Ændringerne kunne gennemføres for 1.000 kr., så tilbagebetalingstiden blev et par uger.

Bølgepappet udstanses i en stansemaskine, hvor en 25 liter cylinder – en centerstøder – sørger for, at stakken er rettet op. Den arbejdede også selvom stansemaskinen stoppedes midlertidigt. Styringen af centerstøderen blev ændret, så den ved maskinstop foretager fire slag og derefter selv stopper. Det gav en elbesparelse på 1.100 kWh/år pr. maskine. Da ændringen blev gennemført for 750 kr., blev tilbagebetalingstiden 1,5 år.

### **Bedre afrensning og lavere trykforbrug med alternativt rensesystem**

Firmaet Dansk Energirådgivning I/S har arbejdet med at effektivisere træindustriens forbrug af trykluft til rensning af bl.a. pudsebånd. Pudsebåndene renses kontinuerligt, da de ellers hurtigt sætter til med træstøv og harpiks. Det traditionelle rensesystem består af en række tryklufthyser, der er monteret på en stang foran pudsebåndet. Undersøgelsen viste, at antallet af dyser ikke er så væsentligt for renseseffekten, ligesom trykket kan reduceres.

Det nye system bygger derfor på færre dyser og en indsnævring af disse, så luftforbruget falder. Dyserne er placeret på en skinne, der føres frem og tilbage, så båndet renses i sin fulde bredde. Ved samtidig at tilføre en rens væske hindres harpiks og pudsestøv i at sætte sig fast på slibe båndet.

Ændringen er gennemført hos Bjarke Joensens Møbel-fabrik i Herning, hvor den både har resulteret i et lavere trykluftforbrug og en bedre afrensning af slibe båndene. Hvor man før skiftede bånd tre gange dagligt, er der nu kun behov for at skifte én gang dagligt.

Trykluftbesparelsen er opgjort til 70% eller 205 m<sup>3</sup>/h for to pudsemaskiner. Det svarer til en årlig besparelse på 52.000 kr. Ændringen af de to pudsemaskiner har alt i alt kostet 259.000 kr., så tilbagebetalingstiden er 5,0 år. Reelt er investeringen dog tjent væsentligt hurtigere hjem, idet der ud over trykluftbesparelsen er opnået et lavere forbrug af slibe bånd samt højere produktivitet, da der er færre stop for båndskift.

## TEST SELV DIT TRYKLUFATANLÆG

Spørgsmål	1	X	2
<b>1</b> Hvad er kompressorernes højeste tryk i normal drift (gælder kompressorer, der forsyner cylindre, maskiner osv.) 1: over 7,5 bar. <b>X</b> : 7,0-7,5 bar. 2: under 7 bar			
<b>2</b> Hvor mange kompressorer er i drift over ugen? 1: kun én. <b>X</b> : én, der nøje svarer til belastningen. 2: flere kompressorer eller én, der frekvensreguleres			
<b>3</b> Er en af kompressorerne frekvensreguleret (omdrejningstals-reguleret)? 1: nej. <b>X</b> : nej, men ingen kompressor er aflastet i mere end 20% af dens driftstid. 2: ja			
<b>4</b> Benyttes kaskaderegulering af kompressorerne (hvis der normalt er flere kompressorer i drift)? 1: ja. <b>X</b> : kun én kompressor. 2: nej, der er ”overordnet styring”			
<b>5</b> Hvor tages kompressorens insugningsluft fra? 1: fra varmt lokale. <b>X</b> : fra koldt lokale. 2: fra det fri			
<b>6</b> Hvor stort er tryktabet ved luftbehandling (køletørrer, filtre m.m.)? 1: kan komme over 0,5 bar. <b>X</b> : 0,3-0,5 bar. 2: under 0,3 bar			
<b>7</b> Hvor stort er tryktabet i fordelingsnettet? 1: kan komme over 0,6 bar. <b>X</b> : 0,3-0,6 bar. 2: under 0,3 bar			
<b>8</b> Frakobles luftforsyningen til fabriksafsnit og store maskiner, der ikke er i drift (når der stadig er tryk på nettet)? 1: nej. <b>X</b> : nej, men aktuelt under 3.000 timer årligt. 2: ja			
<b>9</b> Er der trykreduktionsventiler foran afsnit og udstyr, der kan køre med lavere tryk end net-trykket? 1: nej. <b>X</b> : ikke relevant. 2: ja			
<b>10</b> Hvor tit gennemgås trykluftnettet systematisk for lækager? 1: sjældnere end en gang årligt. <b>X</b> : en gang årligt. 2: mindst to gange årligt			
<b>11</b> Er der inden for de sidste tre år sparet på trykluftten ved at udskifte til mere effektive dyser og cylindre, ved at køle/rengøre med blæsere, ved at anskaffe eldrevet værktøj eller lignende? 1: nej. <b>X</b> : en enkelt gang. 2: ja, flere gange			
<b>12</b> Er der varmegenvinding på en eller flere kompressorer? 1: nej. <b>X</b> : ja, udnyttes i rumvarmesæsonen. 2: ja, udnyttes det meste af året			
<b>13</b> Har en medarbejder fået overdraget ansvaret for drift og vedligehold af anlægget? 1: nej. 2: ja			
<b>14</b> Registreres den enkelte kompressors driftstimer og elforbrug regelmæssigt? 1: nej. <b>X</b> : kun driftstimer. 2: også elforbrug			
<b>15</b> Har virksomheden fået udført energisyn eller selv gennemført energi-check af anlægget? 1: nej. <b>X</b> : ja, for over to år siden. 2: ja, inden for de seneste to år			
Antal afkrydsninger pr. kolonne (i alt 15)			

Point i alt: 1’ere gange 1 + X’er gange 2 + 2’ere gange 3 =

**Vurdering** 40-45 point: Særdeles veldrevet anlæg  
30-39 point: Veldrevet anlæg, men mulighed for yderligere effektivisering  
21-29 point: Anlægget kan effektiviseres på flere områder  
15-20 point: Der er meget at gå i gang med

# Litteratur

- Compressed Air Manual. Atlas Copco. 1998
- Den lille grønne om trykluft. Granzow. 1994
- Energibevidst indkøb: Trykluft.  
Projekt Værktøjskassen. April 1996
- Elbesparelser ved trykluftanvendelse. Substitution og effektivisering. DEFU teknisk rapport 369. 1996
- Syv temaartikler om energimæssige forhold ved trykluft. DEFU. 1999

## GODE RÅD OM ENERGIBESPARELSER VED TRYKLUF

- Reducer tryklufforbruget med bedre dyser, mindre cylindre m.m.
- Erstat trykluff med blæsere, direkte eldrev m.v., hvor det er optimalt
- Brug trykreduktionsventil foran udstyr og afsnit, der kan drives med lavere tryk end forsyningstrykket
- Opdel eventuelt på flere systemer med hver sit tryk
- Producer ved det lavest mulige tryk
- Producer med to eller flere kompressorer eller en frekvensreguleret (omdrejnings-tals-reguleret) kompressor, hvis forbruget varierer en del over døgnet eller året
- Anvend "overordnet styring" ved flere kompressorer i stedet for kaskaderegulering
- Undgå modulerende drift af kompressorer
- Kører en kompressor meget i dellast, bør den være omdrejningstals-reguleret
- Indtagsluften til kompressorerne skal være kold
- Beholdervolumenet skal være stort ved oliesmurte kompressorer, der kører belastet-aflastet
- Tryktabet i forsyningsnettet bør højst være 0,2 bar
- Afbryd tryklufforsyningen til produktionsafsnit og større maskiner, hvis udstyret står stille i mindst 3.000 timer årligt, hvor der er tryk på nettet
- Udnyt varmen fra kompressorerne direkte eller via et varmegenvindingssystem
- Minimer lækagetabet ved at gennemføre lækagesøgning mindst to gange årligt
- Før driftsjournal med timetællere, tryk m.m. for de enkelte kompressorer
- Lav en vedligeholdelsesplan for hele trykluffanlægget
- Gennemfør energicheck af anlægget hvert andet år samt før indkøb af kompressorer
- Ved køb af ny kompressor bør leverandøren opgøre totalomkostningerne for den foreslåede løsning og mindst én alternativ med lavere elforbrug.

Hvor energieffektivt er dit trykluffanlæg?

Udfyld selv-testen s. 22 og se, hvor godt anlægget er.