

Persluchttechnik

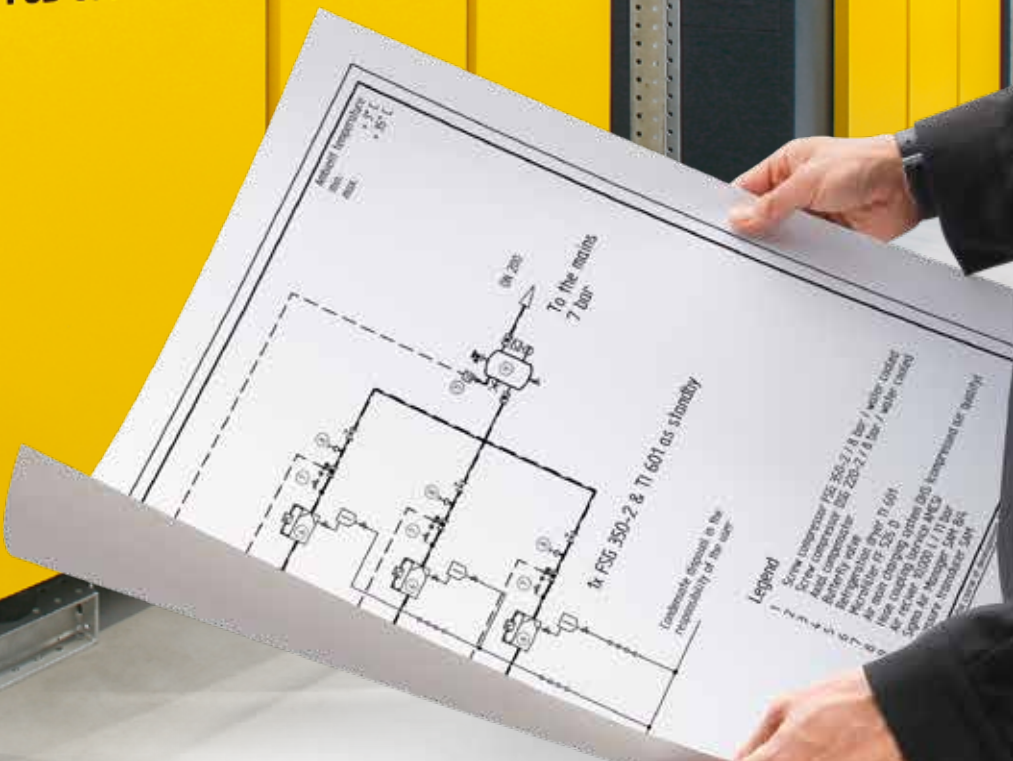
Basisprincipes en praktische tips



Kompressor 5

KAESER

FSD 571



Inhoud

Basisbegrippen

Hoofdstuk 1	Basisbegrippen van de persluchtproductie	4
Hoofdstuk 2	Perslucht rendabel behandelen	6
Hoofdstuk 3	Waarom persluchtdroging?	8
Hoofdstuk 4	Condensaat automatisch afvoeren	10
Hoofdstuk 5	Condensaat voordelig en betrouwbaar behandelen	12
Hoofdstuk 6	Efficiënte compressorbesturing	14
Hoofdstuk 7	Optimale afstemming van compressoren op het verbruik	18
Hoofdstuk 8	Energie besparen met warmteterugwinning	20
Hoofdstuk 9	Nieuw persluchtnet plannen	22
Hoofdstuk 10	Persluchtnet saneren	24
Hoofdstuk 11	Persluchtverbruiksanalyse (ADA) – Bepalen van de actuele situatie	26
Hoofdstuk 12	Het meest economische concept bepalen	30
Hoofdstuk 13	Persluchtstations efficiënt koelen	32
Hoofdstuk 14	Betrouwbaarheid en geoptimaliseerde kosten op lange termijn handhaven	34

Praktische tips

Tip 1	Met optimale druk besparen	40
Tip 2	Juiste druk aan de luchtaansluiting	42
Tip 3	Perslucht efficiënt verdelen	44
Tip 4	Leidingen in het persluchtstation	46
Tip 5	Compressoren correct opstellen	48
Tip 6	Persluchtstations beluchten	49
Tip 7	Persluchtstations ontlichten	50

Bijlage

Bijlage 1	Nomogram – Binnendiameter van de buis bepalen	50
Bijlage 2	Voorbeeldvragenlijst voor de energiesparingsysteem-service	52

Voorwoord



Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Thomas Kaeser



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

Geachte lezers,

Al meer dan tweeduizend jaar geleden verwoordde de Griekse filosoof Socrates het als volgt: „Er is maar één deugd en dat is kennis; en er is maar één ondeugd en dat is onwetendheid.“

Deze wijsheid uit de mond van een van de geestelijke vaders van het avondland is tegenwoordig actueler dan ooit tevoren, want niets lijkt zo constant te zijn als verandering. De toenemende mate en het tempo van de veranderingen door technische vooruitgang en economische mondialisering vraagt om nieuwe antwoorden en nieuwe oplossingsstrategieën.

Meer dan ooit moeten uitdagingen en kansen voor nog meer succes in de toekomst worden benut. Door de steeds verdergaande netwerkvorming en de toenemende complexiteit wordt kennis de belangrijkste “grondstof” van de toekomst. Kennis groeit exponentieel en is voor individuen alleen nog door grote toewijding en permanente educatie te verwerven.

Zo is het bij de persluchttechniek al lang niet meer voldoende om te weten hoe krachtige compressoren gebouwd, vakkundig geïnstalleerd en geëxploiteerd worden.

Wie de energiedrager perslucht modern, en dat wil zeggen zo efficiënt mogelijk wil gebruiken, moet het persluchtsysteem in zijn totaliteit bezien. Bovendien is het belangrijk om de talrijke wisselwerkingen in het systeem en de integratie in de bedrijfsomgeving te kennen.

KAESER KOMPRESSOREN zet zich daarom sterker in voor de scholing van zijn klanten. Dat gebeurt op verschillende manieren. Zo zijn gekwalificeerde en ervaren deskundigen van KAESER het hele jaar door op alle continenten onderweg om op congressen, conferenties en seminars voorlichting te geven over het efficiënt genereren van perslucht. Daar komen nog de talrijke vakpublicaties in de meest uiteenlopende media bij.

In deze uitgave vindt u een samenvatting van onze expertise. Naast een goed onderbouwde, eenvoudig leesbare inleiding in de persluchttechniek vindt u hierin ook talrijke praktische tips voor exploitanten en gebruikers van perslucht. Daarbij wordt duidelijk dat niet zelden kleine veranderingen aan het systeem “perslucht” al kunnen leiden tot merkbare verbeteringen van de efficiëntie en de beschikbaarheid van deze energiedrager.

Hoofdstuk 1

Basisbegrippen van de persluchtproductie

Met perslucht is het net als met alle andere dingen in het leven: het gevaar schuilt dikwijls in een klein hoekje en een kleine oorzaak kan soms grote gevolgen hebben, zowel positief als negatief. Ook blijken sommige zaken bij een nadere beschouwing vaak anders te zijn dan op het eerste gezicht lijkt. Zo kan perslucht onder ongunstige omstandigheden duur maar onder de juiste omstandigheden daarentegen zeer economisch zijn. In het eerste hoofdstuk lichten we vier begrippen uit de persluchttechniek toe en geven aan waarop u hierbij moet letten.

1. Capaciteit

De capaciteit van een compressor is het ongecomprimeerde luchtvolume dat de compressor comprimeert en in de persluchtleidingen pompt. In de normen DIN 1945, deel 1, **bijlage F** en ISO 1217, **bijlage C** is de correcte meetprocedure hiervoor vastgelegd. Om de capaciteit te meten dient u conform **afb. 1** te werk te gaan: Meet eerst bij de luchtinlaat van de gehele installatie de temperatuur, de atmosferische luchtdruk en de luchtvochtigheid. Meet vervolgens de maximale werkdruk, de persluchttemperatuur en het getransporteerde luchtvolume bij de persluchtuitleat van de compressorinstallatie. Reken ten slotte het aan de persluchtuitleat gemeten volume V_2 met de gasvergelijking (zie formule)

$$V_1 = \frac{V_2 \times P_2 \times T_1}{[p_1 - (p_D \times F_{rel})] \times T_2}$$

terug naar de aanzuigomstandigheden. Het resultaat van deze berekening is de capaciteit van de compressorinstallatie. Verwar dit niet met de capaciteit van het compressorblok (blokcapaciteit).

Let op:

DIN 1945 en ISO 1217 geven uitsluitend de capaciteit van het compressorblok weer.

2. Motorafgiftevermogen

Het motorafgiftevermogen is het vermogen dat de aandrijfmotor van de compressor mechanisch afgeeft aan de motoras. Het optimale motorafgiftevermogen is het punt waarop het optimale elektrische rendement en de vermogensfactor $\cos \phi$ wordt bereikt zonder de motor te overbelasten. Deze waarde ligt in het bereik van het nominale motorvermogen. Dit staat vermeld op het typeplaatje van de elektromotor.

Let op! Als het motorafgiftevermogen te sterk afwijkt van het nominale motorvermogen, werkt de compressor niet efficiënt en/of is de slijtage hoger.

3. Opgenomen elektrische vermogen

Het opgenomen elektrische vermogen is het vermogen dat de aandrijfmotor van de compressor bij een bepaalde mechanische belasting van de motoras (motorafgiftevermogen) aan het net onttrekt. Deze waarde is hoger omdat de motorverliezen bij het motorafgiftevermogen worden opgeteld. Dat zijn de elektrische en mechanische verliezen

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

door de motorlagers en -ventilatie. Het opgenomen elektrisch vermogen in het nulpunt kan met de volgende formule worden berekend:

U_n , I_n , en $\cos \phi_n$ staan vermeld op het typeplaatje van de elektromotor.

4. Specifiek vermogen

De verhouding tussen het ingevoerde opgenomen elektrisch vermogen en het afgegeven luchtvolume bij de bijbehorende werkdruk is het specifieke vermogen (**afb. 2**). Het in de compressor ingevoerde opgenomen elektrisch vermogen is de som van de opgenomen elektrische vermogens van alle aandrijvingen in de compressor zoals de hoofdmotor, de ventilatormotor, de oliepompmotor, de stilstandverwarming, enz.

Als het specifieke vermogen nodig is om de rendabiliteit te berekenen, dan moet dit worden betrokken op de gehele compressorinstallatie bij maximale

$$P_{spec} = \frac{\text{Opgenomen elektrisch vermogen}}{\text{capaciteit}}$$

werkdruk. Daarvoor moet het totale opgenomen vermogen bij maximale druk worden gedeeld door de capaciteit van de installatie bij maximale druk.



Afb. 1: Capaciteitsmeting conform ISO 1217, bijlage C (DIN 1945, bijlage F)

5. IE – de nieuwe formule voor een energiebesparende aandrijving

In 1997 werd in de USA door de Energy Policy Act (EPACT) een begin gemaakt met de energie-efficiëntie-classificatie van asynchrone draaistroommotoren. Later werd ook in Europa een efficiëntieclassificatie ingevoerd. Sinds 2010 geldt voor elektromotoren de internationale IEC-norm. Classificaties en wettelijke regelingen hebben tot gevolg gehad dat de energie-efficiëntie van de elektromotoren in het premiumsegment aanzienlijk is verbeterd. De efficiëntere motoren hebben grote voordelen:

a) Lagere bedrijfstemperaturen

Interne verliezen (wrijving, opwarming) kunnen bij kleinere motoren oplopen tot wel 20% van de het opgenomen vermogen, bij motoren vanaf 160kW 4 tot 5%. Bij IE3/IE4-motoren is de opwarming aanmerkelijk lager en zijn dus ook de verliezen lager (afb. 3):

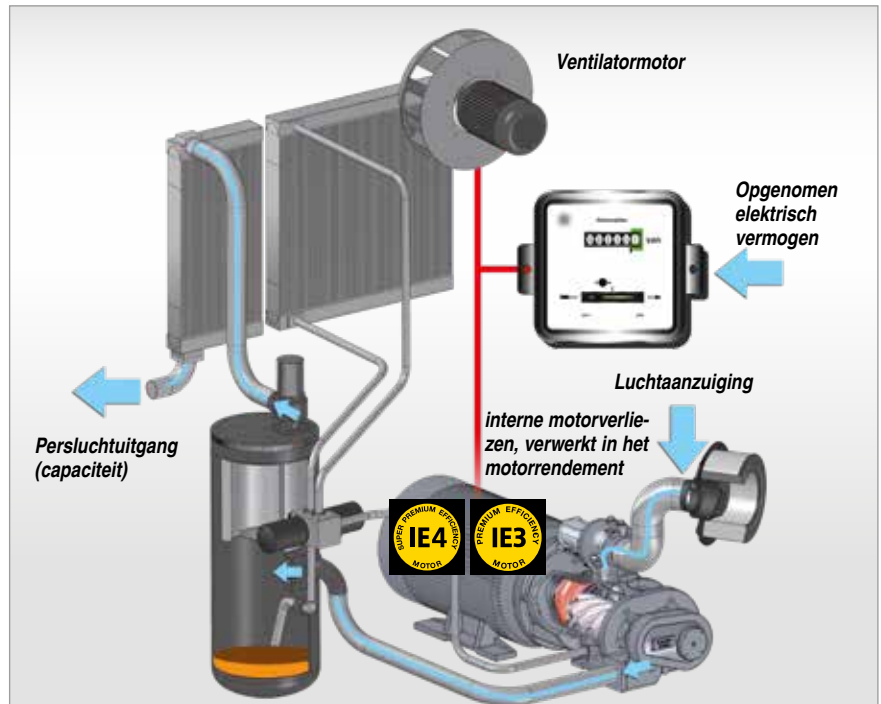
Waar bij een conventionele motor onder normale belasting de temperatuur met ca. 80 K stijgt en de temperatuurreserve t.o.v. isolatieklasse 20 K bedraagt, is de stijging bij een IE-motor onder dezelfde omstandigheden slechts ca. 65 K bij een temperatuurreserve van 40 K.

b) Langere levensduur

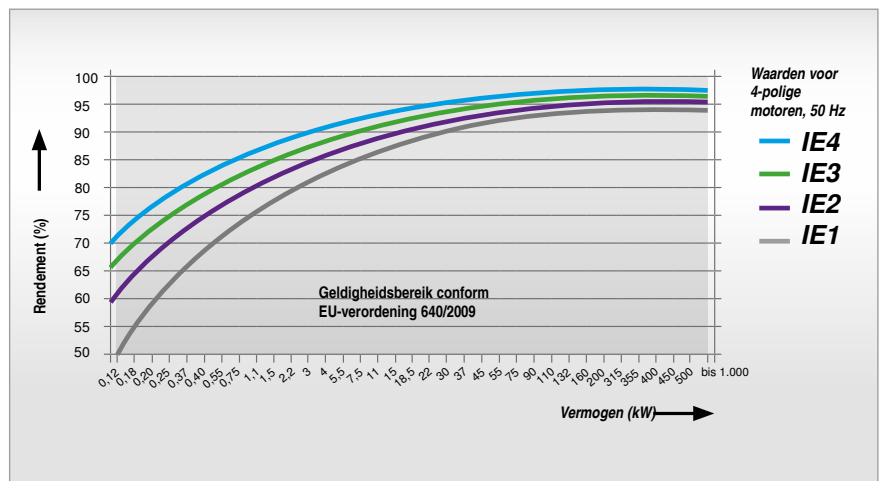
Een lagere bedrijfstemperatuur betekent een lagere thermische belasting van de motor, het lager en de klemmenkast. Een ander voordeel daarvan is een langere levensduur.

c) 6% meer perslucht met minder energie

Geringere warmteverliezen leiden tot een hogere rendabiliteit. Zo kon KAESER door een nauwkeurige afstemming van de compressoren op de efficiëntere motoren de capaciteit met wel 6% en het specifieke vermogen met maximaal 5% verhogen. Dat betekent: een grotere pompcapaciteit,



Afb. 2: Basisontwerp van een schroefcompressor, bepalen van het specifiek vermogen



Afb. 3: De IEC-standaard – de nieuwe efficiëntieclassificatie voor elektromotoren. IE3-motoren zijn sinds 01-01-2015 verplicht in de EU. Inmiddels is er klasse IE4 voor hoogrendementsmotoren

kortere compressorlooptijden en lagere energiekosten per kubieke meter gegenereerde perslucht.

Hoofdstuk 2

Perslucht rendabel behandelen

Bij de vraag met welk compressorsysteem olievrije perslucht het beste gegenereerd kan worden, staat tegenwoordig, ongeacht de andersluidende uitspraken van enkele fabrikanten, vast dat: een hoogwaardige, olievrije persluchtkwaliteit zowel met olievrij (droog) comprimerende als ook met olie- of vloeistofgekoelde compressoren gegenereerd kan worden. Bij de keuze van het systeem moet daarom de rendabiliteit de doorslag geven.

1. Wat is “olievrije perslucht”?

Conform ISO-norm 8573-1 kan perslucht als olievrij worden aangeduid als het oliegehalte in de lucht (inclusief oliedamp) lager is dan 0,01 mg/m³. Dat is ongeveer vier honderdste van wat er aan olie in de atmosfeer aanwezig is. Dit is zo weinig dat het nauwelijks nog aan te tonen is. Maar hoe zit het met de kwaliteit van de aanzuiglucht van de compressor?

Die is sterk afhankelijk van de omgevingsomstandigheden. Al in normaal belaste zones kan het gehalte aan koolwaterstoffen veroorzaakt door uitstoot van industrie en verkeer tussen 4 en 14 mg/m³ lucht bedragen. In industriegebieden waar olie als smeer-, koel- en procesmedium wordt ingezet, kan alleen al het gehalte minerale olie veel hoger zijn dan 10 mg/m³.

Daar komen nog andere verontreinigingen zoals koolwaterstoffen, zwaveloxide, roet, metalen en stof bij.

2. Waarom behandelen?

Elke compressor werkt als een grote stofzuiger die vuile stoffen opneemt. Deze stoffen worden door compressie van de lucht bij ontbrekende behandeling aan het persluchtnet doorgegeven.

a) Olivrij compressoren

Dit geldt met name voor olievrij comprimerende compressoren. Vanwege de bij 1 genoemde belastingen is het onmogelijk om olievrije perslucht te genereren met een compressor die alleen over een stoffilter van 3 micron beschikt. Olivrij comprimerende compressoren hebben behalve deze stoffilters geen andere componenten om de lucht te behandelen.

b) Vloeistof- resp. oliegekoelde compressoren

Bij olie- en vloeistofgekoelde compressoren daarentegen worden agressieve stoffen in het koelmedium (olie) geneutraliseerd en worden vaste stoffen gedeeltelijk uit de perslucht gewassen.

3. Zonder luchtbehandeling geen gedefinieerde persluchtkwaliteit

Ondanks dat de perslucht een hogere zuiverheid heeft, geldt ook hier: Zonder luchtbehandeling gaat het niet. Alleen droge of met olie gekoelde comprimering volstaat bij gangbare aanzuigomstandigheden en de daarbij optredende luchtverontreinigingen niet, om een gedefinieerde olievrije persluchtkwaliteit conform ISO 8573-1 te genereren.

Hoe rendabel de persluchtgeneratie is, hangt niet alleen af van de druk en de capaciteit maar ook van het vereiste compressortype. De basis voor elke op het gebruik afgestemde persluchtbehandeling is een goede droging. Meestal is de energiezuinige koeldroging de rendabelste methode (**lees daarvoor ook pagina 9 van hoofdstuk 3**).

4. Behandelen met het KAESER cleanroomsysteem

Moderne vloeistof- of oliegekoelde schroefcompressoren hebben een ca. 10% hoger rendement dan olievrij comprimerende compressoren. Het door KAESER ontwikkelde cleanroom-sys-

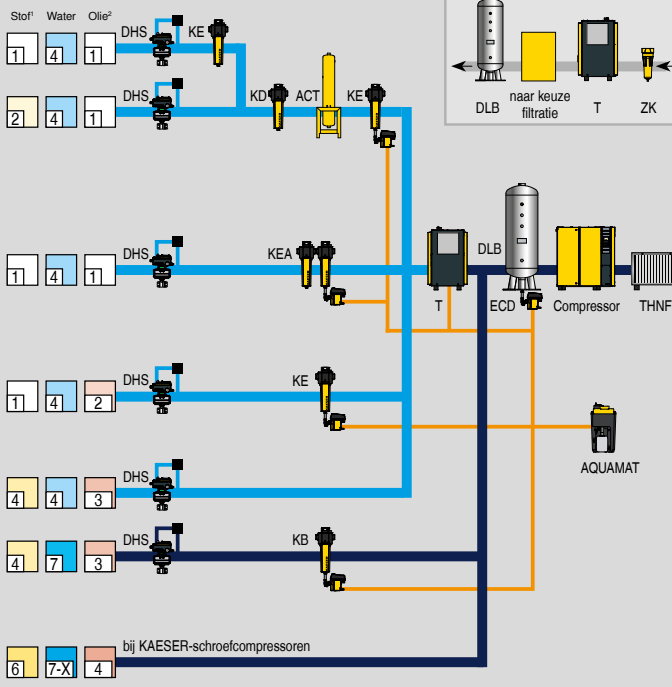
teem voor vloeistof- of oliegekoelde en olievrij comprimerende compressoren maakt een verdere kostenbesparing tot wel 30% mogelijk. Het restoliegehalte dat hiermee wordt behaald, bedraagt minder dan 0,003 mg/m³, dus veel lager dan de grenswaarde voor kwaliteitsklasse 1 (voor het restoliegehalte) als opgenomen in de ISO-norm. Het systeem omvat alle luchtbehandelingscomponenten die nodig zijn om de vereiste persluchtkwaliteit te genereren. Afhankelijk van de toepassing worden koel- of adsorptiedrogers (**lees ook pagina 9 van hoofdstuk 3**) en verschillende filtercombinaties gebruikt. Zo kan droge en partikelvrije perslucht tot en met technisch olievrije en steriele perslucht worden gegenereerd die voldoet aan de kwaliteitsklassen voor perslucht die in de ISO-norm zijn vastgelegd. Betrouwbaar en gunstig (**afb. 1**).

Kies op basis van de behoefte/toepassing de gewenste graad van behandeling:

Toepassingsvoorbeelden: keuze behandlungsgraad conform ISO 8573-1 (2010)

Persluchtbehandeling met koeldroger

cleanroomtechniek
zuivelfabriek, brouwerij
voedings- en genotmid-
delenproductie, bijzonder
zuivere transportlucht,
chemische installaties



farmaceutische industrie,
weefgetouwen, fotolab's

verfspuiten, poederlakken,
verpakken, stuur- en instru-
mentenlucht

algemene werklucht, zand-
stralen van hoge kwaliteit

kogelstralen

transportlucht voor water-
zuiveringsinstallaties,
geen kwaliteitseisen

Persluchtbehandeling met adsorptiedroger

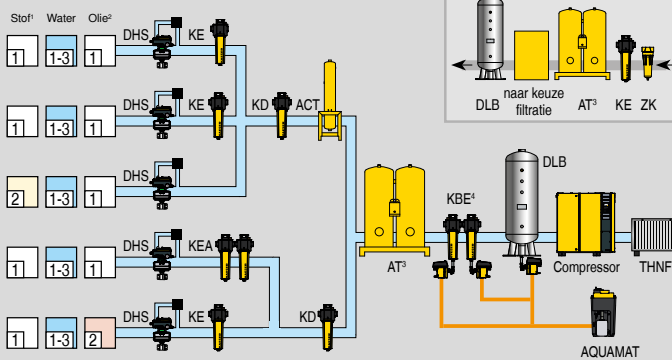
cleanroomtechniek
farmaceutische industrie,
zuivelfabriek, brouwerij

chipproductie, optiek,
voedings- en genotmid-
delenproductie

lakinstallaties

proceslucht, farmaceuti-
sche industrie

bijzonder droge transport-
lucht, verfspuiten, fijndru-
kregelaar



Verklaringen	
ACT	Actieve kooladsorber
AQUAMAT	AQUAMAT
AT	Adsorptiedroger
DHS	Drukhoudstelsysteem
DLB	Persluchtank
ECD	ECO-DRAIN
KA	Actieve koolfilter, adsorptie
KB	Coalescentiefilter, Basic
KBE	Extra Combination
KD	Stoffilter, Dust
KE	Coalescentiefilter, Extra
KEA	Carbon Combination
T	Koeldroger
THNF	Stofzakfilter
ZK	Cycloonaafscheider

Persluchtqualiteitsklassen conform ISO 8573-1(2010):

Vaste stoffen/stof	
Klasse	max. aantal partikels per m ³ * van een partikelgrootte d in µm
	0,1 ≤ d ≤ 0,5 0,5 ≤ d ≤ 1,0 1,0 ≤ d ≤ 5,0
0	individuele bepalingen na overleg met KAESER
1	≤ 20.000 ≤ 400 ≤ 10
2	≤ 400.000 ≤ 6.000 ≤ 100
3	niet gedefinieerd ≤ 90.000 ≤ 1.000
4	niet gedefinieerd niet gedefinieerd ≤ 10.000
5	niet gedefinieerd niet gedefinieerd ≤ 100.000
Klasse	Concentratie partikels C _p in mg/m ³ *
6	0 < C _p ≤ 5
7	5 < C _p ≤ 10
X	C _p > 10

Water	
Klasse	Drukdawpunt in °C
0	individuele bepalingen na overleg met KAESER
1	≤ -70 °C
2	≤ -40 °C
3	≤ -20 °C
4	≤ +3 °C
5	≤ +7 °C
6	≤ +10 °C
Klasse	Concentratie vloeibaar watergehalte C _w in g/m ³ *
7	C _w ≤ 0,5
8	0,5 < C _w ≤ 5
9	5 < C _w ≤ 10
X	C _w > 10

Olie	
Klasse	Totale olieconcentratie (vloeibaar, aerosol + gasvormig) in mg/m ³ *
0	individuele bepalingen na overleg met KAESER
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	≤ 1,0
4	≤ 5,0
X	> 5,0

¹⁾ Bereikbare partikelklasse bij deskundig aangelegd pijpwerk en inbedrijfstelling.
²⁾ Bereikbare totale oliegehalte bij gebruik van aanbevolen compressorolie en onbelaste aanzuiglucht.
³⁾ Na warm regenererende adsorptiedrogers zijn filters voor hoge temperatuur en evtl. nakoelers noodzakelijk.
⁴⁾ Bij kritische toepassingen, die een hoge graad aan persluchtzuiverheid vereisen (bv. op het gebied van elektronica en optica) wordt het gebruik van een Extra Combination (filtercombinatie van KB- en nageschakelde KE-filter) aanbevolen.

^{*)} bij referentievoorwaarden 20 °C, 1 bar(a), 0% luchtvochtigheid

Afb. 1: Als leidraad vindt de gebruiker op elke nieuwe brochure met KAESER-schroefcompressoren het bovenstaande schema. Uitgaande van de toepassing kan zo in één oogopslag de geschikte combinatie van apparaten worden afgeleid

Hoofdstuk 3

Waarom persluchtdroging?

Het probleem hangt in de lucht – en wel in de meest letterlijke zin: Als de atmosferische lucht afkoelt, wat na comprimering in de compressor het geval is, ontstaat er condensaat. Zo “produceert” een compressor met een capaciteit van 5 m³/min (bij een omgevingstemperatuur van +20 °C, 70% relatieve vochtigheid en 1 bar_{abs}) per achturige werkdag ongeveer 30 liter water. Dit moet uit het persluchtsysteem worden verwijderd om storingen en schade te voorkomen. Daarom is een voordelige en milieuvriendelijke persluchtdroging een belangrijk onderdeel van een op de toepassing afgestemde luchtbehandeling.

1. Een praktijkvoorbeeld

Als een vloeistofgekoelde schroefcompressor bij 20 °C en omgevingsdruk per minuut 10m³ lucht met 60% relatieve vochtigheid aanzuigt, dan bevat deze lucht ca. 100g waterdamp. Als de lucht in een verhouding van 1:10 wordt gecomprimeerd tot een absolute druk van 10bar, dan wordt effectief 1 kubieke meter perslucht gegenereerd. Bij een temperatuur van 80 °C na compressie kan de lucht nu 290g water per kubieke meter opnemen. Omdat echter slechts ca. 100g aanwezig is, is de lucht met een relatieve vochtigheid van ca. 35% vrij droog en ontstaat er geen condensaat. De nakoeler van de compressor reduceert

de persluchttemperatuur van 80 tot ca. 30 °C.

Daarna kan de kubieke meter lucht nog maar ca. 30 g water opnemen: het overtollige water, ca. 70g/min, condenseert en wordt afgescheiden. Bij een werkdag van 8 uur ontstaat zo dus ca. 35 liter condensaat. Daarnaast ontstaat nog 6 liter per dag bij gebruik van een nageschakelde koeldroger. Daarin wordt de perslucht eerst afgekoeld tot +3 °C en later weer verwarmd tot omgevingstemperatuur. Dat leidt tot een onderverzadiging met vocht van ca. 20% en dus tot een betere, relatief droge persluchtkwaliteit (afb. 1).

2. Oorzaak luchtvochtigheid

Onze omgevingslucht is min of meer vochtig, want ze bevat ook altijd water. De vochtigheid is afhankelijk van de heersende temperatuur. Zo bevat bijv. 100% met waterdamp verzadigde lucht bij +25 °C bijna 23g water per kubieke meter.

3. Condensaatvorming

Condensaat ontstaat als het luchtvolume afneemt en tegelijkertijd de luchttemperatuur daalt. Zo neemt het vermogen van de lucht om water op te nemen af. En precies dit gebeurt na het comprimeren in het compressorblok en in de nakoeler van een compressor.

4. Belangrijke begrippen – kort uitgelegd

a) Absolute luchtvochtigheid

De absolute luchtvochtigheid is een maatstaf voor het waterdampgehalte van de lucht uitgedrukt in g/m³.

b) Relatieve luchtvochtigheid (F_{rel})

De relatieve luchtvochtigheid geeft de mate van verzadiging aan, dat wil zeggen de verhouding tussen het werkelijke waterdampgehalte en het betreffende verzadigingspunt (100% F_{rel}) van de lucht. Deze is afhankelijk van de temperatuur: Warme lucht kan meer waterdamp opnemen dan koude.

c) Atmosferisch dauwpunt

Het atmosferische dauwpunt is de temperatuur waarbij de lucht bij atmosferische druk (omgevingsomstandigheden) een vochtverzadigingsgraad (F_{rel}) van 100% bereikt.

d) Drukdauwpunt

Drukdauwpunt is de temperatuur waarbij perslucht bij de absolute druk het vochtverzadigingspunt (100% F_{rel}) bereikt. Voor het bovenstaande voorbeeld betekent dat het volgende: De onder een druk van 10 bar(a) staande lucht heeft bij een drukdauwpunt van +3 °C een absolute luchtvochtigheid van



Afb. 1: Bij het genereren, opslaan en behandelen van perslucht ontstaat condensaat (gegevens hebben betrekking op 10 m³/min, 10 bar_{abs}, 8 h, 60% F_{rel} en 20 °C)

6g per effectieve kubieke meter. Als de in het voorbeeld genoemde effectieve kubieke meter van 10bar(a) ontspant tot atmosferische druk, dan neemt het volume weer met het tienvoudige toe. Het aandeel van de waterdamp van 6 g blijft ongewijzigd en wordt nu over het tien keer grotere volume verdeeld. Daardoor bevat elke kubieke meter ongecomprimeerde lucht nog slechts 0,6g waterdamp. Dat komt overeen met een atmosferisch dauwpunt van -24 °C.

5. Rendabele en milieuvriendelijke persluchtdroging met koel- of adsorptiedrogers?

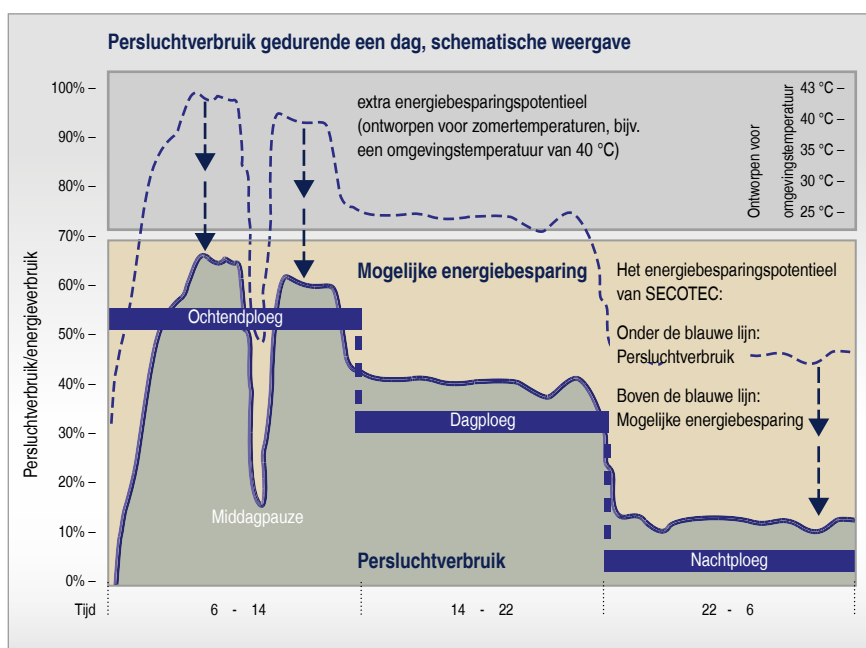
Ook met de nieuwe milieuvoorschriften voor koelmiddelen zijn adsorptiedrogers uit het oogpunt van rendabiliteit noch uit milieutechnisch oogpunt een alternatief voor koeldrogers. Deze hebben namelijk slecht 3% nodig van de energie die de compressor nodig heeft om perslucht te genereren. Adsorptiedrogers daarentegen hebben 10 tot 25% of nog meer van die energie nodig. Daarom

Droog-procedé	Drukdauw-punt °C	Typische specifieke vermogens-opname kW / m ³ /min **)
Koeldroger	+ 3	0,1
HYBRITEC	+ 3 / - 40 *	0,2 0,3
Warmregenererende adsorptiedroger	- 40	0,5 - 0,6
Koudregenererende adsorptiedroger	- 20 - 70	1,4 - 1,6

Afb. 2: Afhankelijk van het benodigde drukdauw-punt zijn verschillende droogprocedés mogelijk

moeten normaliter koeldrogers worden gebruikt.

Het gebruik van adsorptiedrogers is alleen zinvol als extreem droge persluchtkwaliteiten met dauwpunten tot -20, -40 of -70 °C nodig zijn (**afb.**



Afb. 3: Energiebesparingspotentieel bij koeldrogers met uitschakelregeling

2). Gedurende een werkdag staan persluchtsystemen vaak bloot aan aanzienlijke schommelingen van het persluchtverbruik. Dit geldt des te meer over een geheel jaar gezien, waar dan ook nog grote temperatuurschommelingen bij komen. Daarom moeten persluchtdrogers voor de slechtst denkbare omstandigheden worden ontworpen: laagste druk, hoogste persluchtverbruik en een zeer hoge inlaattemperatuur van de omgevings- en perslucht.

Vroeger werd dit opgelost door de droger continu te laten werken, wat vooral bij deellastbedrijf grote energieverkwisting tot gevolg had. Moderne koeldrogers met een efficiënte uitschakelregeling daarentegen passen hun energieverbruik aan de wisselende omstandigheden aan en houden tegelijkertijd de persluchtkwaliteit constant (**afb. 3**). Zo kunt u per jaar gemiddeld meer dan 50% energie besparen.

Het gebruik van energie-efficiënte techniek is vooral belangrijk om drukdauwpunten onder nul mogelijk te

maken, want de hiervoor gebruikte adsorptiedrogers verbruiken zeer veel energie.

Met een voordelig en energiezuinig gecombineerd procedé, het HYBRITEC-systeem, is het gelukt om het energieverbruik aanzienlijk te verlagen: Het systeem bestaat uit een koeldroger en een adsorptiedroger. Eerst koelt de koeldroger de ingevoerde perslucht energiezuinig af tot een drukdauw-punt van +3 °C. Na zo te zijn voorgedroogd stroomt de lucht naar de adsorptiedroger, die nu aanmerkelijk minder energie nodig heeft om de lucht nog sterker te drogen tot een drukdauw-punt van -40 °C.

Hoofdstuk 4

Condensaat automatisch afvoeren

Condensaat is een onvermijdelijk bijproduct van perslucht. Een compressor van 30 kW met een capaciteit van 5 m³/min produceert al bij gemiddelde bedrijfsomstandigheden ca. 20 liter condensaat per werkdag. Dit moet uit het persluchtsysteem worden verwijderd om storingen en corrosieschade te voorkomen. In dit hoofdstuk leest u hoe u het condensaat correct aftapt en daardoor de kosten aanzienlijk kunt verlagen.

1. Condensaatafvoer

In elk persluchtsysteem ontstaat op bepaalde plaatsen met diverse verontreinigingen belast condensaat (afb. 1). Daarom is een betrouwbare condensatafvoer absoluut noodzakelijk. Dit heeft een essentiële invloed op de persluchtkwaliteit, de bedrijfszekerheid en het rendement van elke persluchtinstallatie.

a) Condensaatzamel- en aftappunten

Om het condensaat te verzamelen en af te tappen worden in eerste instantie mechanische componenten van het persluchtsysteem gebruikt. Daar ontstaat al 70 tot 80% van al het condensaat – bij compressoren met goede nakoeling.

Cycloonafscheider:

Deze mechanische afscheider haalt het condensaat met behulp van de middelpuntvliedende kracht uit de lucht (afb. 2). Om optimaal te kunnen werken moet deze altijd aan één compressor zijn toegewezen.

Tussenkoeler:

Bij tweetrapscompressoren met tussenkoelers ontstaat het condensaat ook bij de afscheider van de tussenkoeler.



Afb. 1: In elk persluchtsysteem ontstaat op bepaalde punten condensaat

Persluchtketels:

De hoofdfunctie van de ketel is het opslaan van perslucht, maar daarnaast scheidt de ketel ook met middelpuntvliedende kracht het condensaat en de lucht (afb. 1). Voldoende gedimensioneerd (compressorcapaciteit/min : 3 = minimale vatgrootte in m³) is de persluchtketel net zo effectief als een cycloonafscheider.

Het verschil is echter dat de ketel in de centrale persluchtverzamelleiding van het verzamelstation kan worden geïntegreerd als de luchtinlaat onder en de luchtuitlaat boven zit. Dankzij het grote oppervlak waarvan de warmte kan afstralen, koelt de ketel de perslucht bovendien af en verbetert zo de condensatscheiding.

Waterzak in de persluchtleiding:

Om ongecontroleerd uitstromen van condensaat te voorkomen moet de persluchtleiding in de vochtige zone zodanig worden uitgevoerd dat alle in- en uitlaten aan de bovenzijde of de zijkant zitten.

Gedefinieerde condensataftappunten aan de onderkant, zogenoemde waterzakken, voeren het condensaat uit de hoofdleiding af. Bij een luchtstroomsnelheid van 2 tot 3 m/s en een correct ontwerp scheidt de waterzak (afb. 3) in

de vochtige zone van het persluchtsysteem condensaat net zo effectief af als een persluchtketel (afb. 1).

b) Persluchtdroger

Naast de al genoemde punten zijn er meer condensaatverzamel- en aftappunten bij persluchtdroging.

Koeldrogers:

Tijdens het afkoelen en dus het drogen van de perslucht ontstaat in de koeldroger eveneens condensaat.

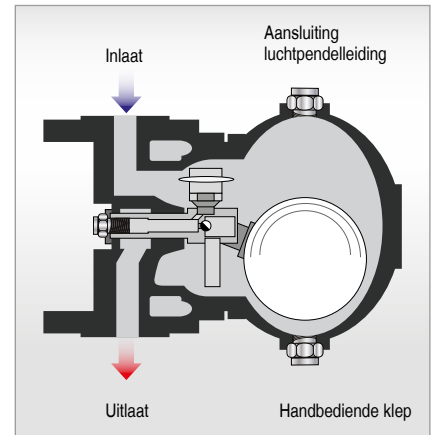


Afb. 2: Cycloonafscheider met condensatafvoer



- 1 Persluchtverzamelleiding, vallend (2%)
- 2 Zwanenhals
- 3 Aansluiting van de compressor
- 4 Condensaatopvang in de persluchtverzamelleiding (waterzak)
- 5 Naar het persluchtnet
- 6 Condensaatafvoer
- 7 Condensaatverzamelleiding

Afb. 3: Waterzak met condensaat aftappunt in de vochtige zone van een persluchtsysteem



Afb. 4: Vlotterafvoer voor persluchtcondensaat

Adsorptiedroger:

Door de afkoeling in de persluchtleiding ontstaat al bij het voorfilter van de adsorptiedroger condensaat. In de adsorptiedroger zelf is water door de heersende partiële drukken in dampvorm aanwezig.

c) Decentrale afscheider

Zonder decentrale persluchtdroging ontstaan grote hoeveelheden condensaat bij de vlak voor de persluchtverbruikers geïnstalleerde waterafscheiders, inclusief een enorme onderhoudsbehoefte.

2. Afvoersystemen

Momenteel worden voornamelijk drie systemen gebruikt:

a) Vlotteraftappunt

Vlotteraftappunten behoren tot de oudste afvoersystemen en vervingen de volledig onrendabele en onbetrouwbare handmatig bediende aftappunten. Maar ook de condensaatafleiding volgens het vlotterprincipe (afb. 4) is door de verontreinigingen in de perslucht zeer onderhoudsintensief en storingsgevoelig.

b) Magneetventiel

Magneetventielen met tijdregeling zijn weliswaar bedrijfszekerder dan vlotterafscheiders, maar moeten nog

altijd op verontreinigingen worden gecontroleerd. Verkeerd ingestelde ventielopeningstijden veroorzaken bovendien persluchtverliezen en verhogen zo het energieverbruik.

c) Condensaat aftappunt met niveausturing

Tegenwoordig worden voornamelijk aftappunten met intelligente niveauregeling gebruikt (afb. 5). Het is in uw voordeel dat een elektronisch aftappunt de storingsgevoelige vlotterfunctie vervangt: Zo zijn storingen door verontreiniging of mechanische slijtage uitgesloten. Bovendien voorkomen nauwkeurig berekende en aangepaste ventielopeningstijden zeer betrouwbaar persluchtverliezen. Andere voordelen zijn de automatische eigen monitoring en de mogelijkheid om de signalen door te geven aan de centrale besturingstechniek.

d) Juiste installatie

Tussen het condensaatafscheidersysteem en het condensaat aftappunt moet altijd een kort stukje leiding met kogelkraan worden ingebouwd (afb. 2 en 3). Zo kan het aftappunt bij onderhoudswerkzaamheden worden afgesloten en de persluchtinstallatie storingsvrij doorgaan.



Afb. 5: Condensaat aftappunt met elektronische niveausturing (type ECO-DRAIN)

Hoofdstuk 5

Condensaat voordelig en betrouwbaar behandelen

Het condensaat dat onvermijdelijk ontstaat tijdens de persluchtproductie is niet uitsluitend gecondenseerde waterdamp. Elke compressor werkt als een grote stofzuiger: Hij zuigt met de verontreinigde omgevingslucht verontreinigingen aan en geeft deze geconcentreerd af aan het condensaat door de nog onbehandelde perslucht.

1. Waarom eigenlijk condensaatbehandeling?

Persluchtgebruikers die condensaat simpelweg in het riool lozen, riskeren forse straffen. De reden: Het condensaat dat ontstaat bij de persluchtproductie is een gevaarlijke cocktail. Door de bestaande milieubelastingen bevat het behalve stofdeeltjes ook koolwaterstoffen, zwaveldioxide, koper, lood, ijzer en nog veel meer. In Duitsland wordt het verwijderen van condensaat van persluchtinstallaties geregeld door de wet op de waterhuishouding (WHG). Hierin is voorgeschreven dat water dat schadelijke stoffen bevat overeenkomstig de "algemeen erkende regels van de techniek" (§ 7a WHG) moet worden behandeld. Dit heeft betrekking op elk type condensaat – ook dat uit olievrij comprimerende compressoren.

Voor alle schadelijke stoffen en de pH-waarde gelden er wettelijke grenswaarden. Deze verschillen per branche en land. Voor koolwaterstoffen bijvoorbeeld bedraagt de maximaal toegestane waarde 20 mg/l; de toegestane pH-waarde voor inleidbaar condensaat ligt tussen 6 en 9.

2. Condensaathoedanigheid (afb. 1)

a) Dispersie

Persluchtcondensaat kan verschillende hoedanigheden hebben. Dispersies treden doorgaans op bij vloeistofgekoelde schroefcompressoren die met synthetische koelmiddelen zoals "Sigma Fluid S460" werken. De

pH-waarde van dit condensaat ligt normaliter tussen 6 en 9, en kan dus als pH-neutraal worden beschouwd. Uit de atmosferische lucht komende verontreinigingen hechten zich bij dit condensaat aan een olielaag die op het water drijft en daarvan gemakkelijk kan worden afgescheiden.

b) Emulsie

Een zichtbaar teken voor de aanwezigheid van emulsie is een melkachtige vloeistof die zelfs na een paar dagen niet in twee fasen is gescheiden. Deze condensaathoedanigheid komt vaak voor bij zuiger-, schroef- en schottencompressoren die met conventionele olie werken. Ook hierbij zitten er schadelijke stoffen in de oliebestanddelen. Door de sterke, stabiele menging kunnen olie en water, maar ook aangezogen verontreinigingen zoals stof en zware metalen niet door zwaartekracht worden gescheiden. Als de aanwezige oliën esters bevatten, kan het zijn dat condensaat bovendien agressief is en geneutraliseerd moet worden. Dergelijke condensaten kunnen alleen met emulsiescheidingsinstallaties worden behandeld.

3. Verwijderen door derden

Natuurlijk is het ook mogelijk het condensaat te verzamelen en door een gespecialiseerd bedrijf te laten verwijderen. De verwijderingskosten bedragen, afhankelijk van de condensaathoedanigheid, ca. € 40 tot €150 per m³. Gezien het condensaatvolume is het in eigen beheer behandelen van condensaat meestal rendabel. U hebt het voordeel dat van het oorspronkelijke condensaatvolume nog slechts 0,25% overblijft dat op milieuvriendelijke wijze moet worden afgevoerd.

4. Behandelingsprocedé

a) voor dispersies

Om dit type condensaat te behandelen volstaat in de meeste gevallen een scheider met drie kamers, te weten twee voorafscheidkameren en een kamer met een actiefkoolfilter (afb. 2). Het eigenlijke scheiden gebeurt met behulp van de zwaartekracht. De olielaag die op het oppervlak van de vloeistof in de afscheidkameren drijft, wordt naar een verzamelreservoir geleid en als oude olie afgevoerd.

Het achtergebleven water wordt vervolgens in twee trappen gefilterd en kan dan in het riool worden geloosd.



Afb. 1: Elke compressor zuigt met de atmosferische lucht ook waterdamp en verontreinigingen aan. Uit het persluchtcondensaat (afb. 1, 1) dat wordt gevormd, moeten derhalve olie en andere schadelijke stoffen worden verwijderd (afb. 1, 2), voordat het als zuiver water (afb. 1, 3) kan worden afgevoerd



Afb. 2: Condensaatafscheidingssysteem voor persluchttechniek volgens het zwaartekrachtprincipe (afbeelding)

In vergelijking met het afvoeren door een gespecialiseerd bedrijf kan met het scheiden door zwaartekracht een kostenbesparing van ca. 95% worden gerealiseerd.

De apparaten worden momenteel aangeboden voor compressoren met een maximale capaciteit van 105 m³/min. Vanzelfsprekend kunnen er meerdere apparaten parallel worden geschakeld als dat nodig is.

b) voor emulsies

Voor het behandelen van stabiele emulsies worden tegenwoordig voornamelijk twee apparaattypen gebruikt:

Membraansystemen werken volgens het ultrafiltratieprincipe en maken gebruik van het zogenoemde cross-flowprocedé. Hierbij stroomt het voorgefilterde condensaat over de membranen.

Een deel van de vloeistof dringt daar doorheen en verlaat het apparaat als zuiver water. Het tweede apparaattypen werkt met een poedervormig scheidingsmiddel. Dit kapselt de oliedeeltjes in en vormt vervolgens grote vlokken die goed gefilterd kunnen worden. Filters met een gedefinieerde poriegrootte

houden deze vlokken betrouwbaar tegen. Het wegstromende water kan worden afgevoerd.

Hoofdstuk 6

Efficiënte compressorbesturing

Alleen als de capaciteit van de compressoren goed aan het schommelende persluchtverbruik is aangepast, kunnen de energievretende en dus dure deellastfasen worden voorkomen. De juiste compressorbesturing speelt een cruciale rol voor een energiezuinige werking.

Bij een benuttingsgraad van de compressoren van minder dan 50% geldt de hoogste alarmfase voor energieverwasting. Veel exploitanten zijn zich hiervan niet bewust omdat hun compressoren alleen een bedrijfsurenteller hebben en geen vollasturenteller. Goed afgestelde besturingssystemen kunnen hierbij

helpen: Doordat ze benuttingsgraad verhogen tot 90% en hoger, kunnen ze tot wel 20% energie besparen.

1. Interne sturing

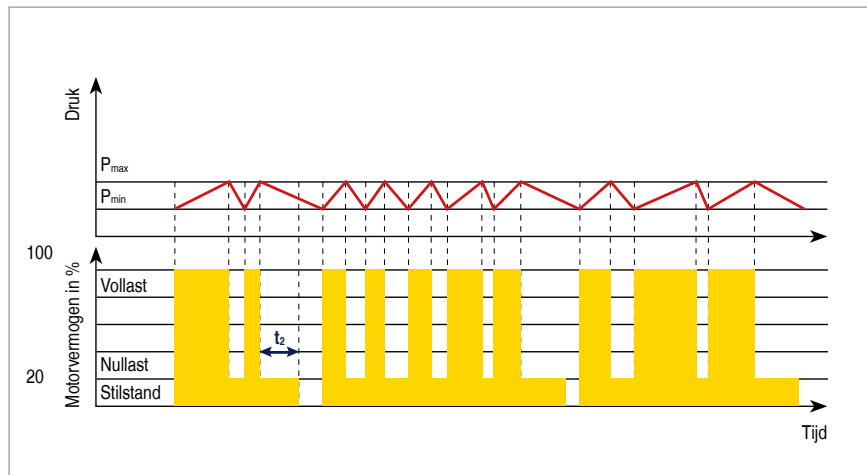
a) Vollast-/nullastregeling

In de meeste compressoren worden asynchrone draaistroommotoren als aandrijving gebruikt. De schakelfrequentie van deze motoren daalt naarmate de capaciteit toeneemt. Deze komt niet overeen met de schakelfrequentie die nodig is om compressoren met een klein

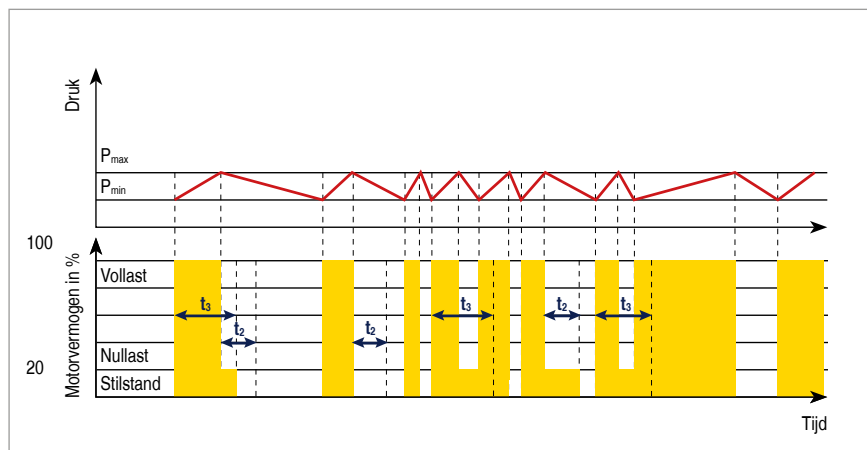
schakelverschil overeenkomstig het werkelijke persluchtverbruik in en uit te schakelen. Dergelijke schakelingen ontlasten echter alleen de drukvoerende componenten van de compressor. De motor loopt nog enige tijd door (afb.1). De energie die daarvoor nodig is, moet als verloren worden beschouwd. De energiebehoefte van op deze wijze schakelende compressoren bedraagt tijdens de nullastfase nog altijd 20% van de vollastcapaciteit.

Moderne computergestuurde regelsystemen zoals de quadroregeling met automatische keuze van de optimale modus (afb. 2), dynamische regeling met nullastfasen afhankelijk van de temperatuur van de aandrijfmotor (afb. 3) en de varioregeling met variabel berekende nullastfasen (afb. 4) helpen een duur bedrijf tijdens nullast te voorkomen – terwijl de motor volledig wordt beschermd.

Proportionele regelingen door aan de aanzuig-zijde te smoren zijn niet aan te bevelen, want dan gebruikt de compressor bij 50% van de capaciteit toch nog 90% van de energie die bij 100% van de capaciteit nodig heeft.



Afb. 1: Vollast-nullast-uitschakelregeling met vast ingestelde nullastfasen, de zogenoemde duale regeling



Afb. 2: Vollast-nullast-uitschakelregeling met automatische keuze van de optimale bedrijfsmodus de zogenoemde quadroregeling

b) Frequentieomvorming

Compressoren waarvan het toerental door een frequentieomvormer wordt geregeld (afb. 5) laten in hun regelbereik geen constant rendement zien. Bij een motor van 90 kW bijvoorbeeld daalt dit in het regelbereik tussen 30 en 100% van 94 naar 86%. Daar moeten dan nog de verliezen in de frequentieomvormer en het niet-lineaire vermogensverloop van de compressoren worden bijgeteld. Compressoren met frequentieregeling moeten in het regelbereik tussen 40 en 70% worden gebruikt: Hier is hun rendement optimaal.

Deze componenten moeten zijn ontworpen voor een last van 100%. Verkeerd ingezette systemen met

frequentieomvormers kunnen energievreters worden zonder dat de exploitant het merkt. Frequentieomvorming is dus geen wondermiddel om compressoren zo energiezuinig mogelijk in te zetten.

2. Indeling naar persluchtverbruik

Compressoren kunnen in principe worden ingedeeld volgens hun functie als basislast-, middenlast-, pieklast- of stand-by-installaties.

a) Basislastverbruik

Onder basislastverbruik verstaat men de hoeveelheid lucht die een bedrijf constant nodig heeft.

b) Pieklastverbruik

Het pieklastverbruik is de hoeveelheid lucht die tijdens verbruikspieken wordt verbruikt. Dit verbruik kan variëren afhankelijk van de eisen van de verschillende verbruikers.

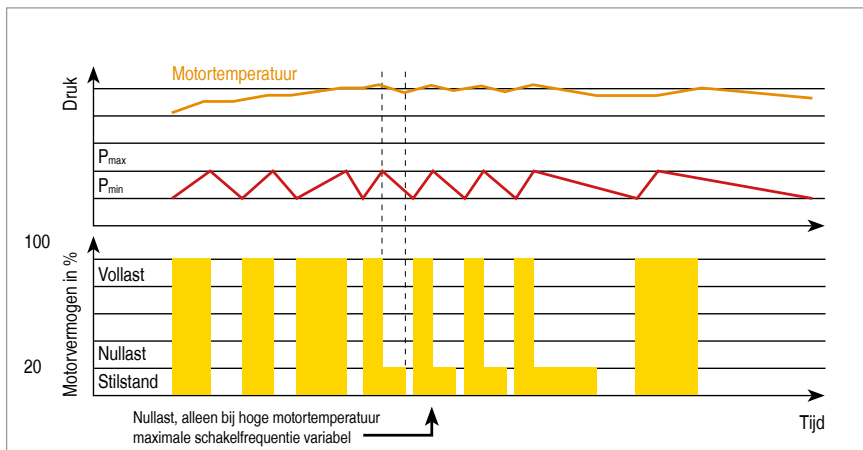
Om de verschillende lastfuncties zo goed mogelijk te kunnen vervullen, moeten de compressoren met verschillende besturingen worden uitgerust. Deze besturingen moeten in staat zijn om bij uitval van een overkoepelend besturingssysteem de compressor en de persluchtvoorziening draaiende te houden.

3. Machineoverkoepelende besturing

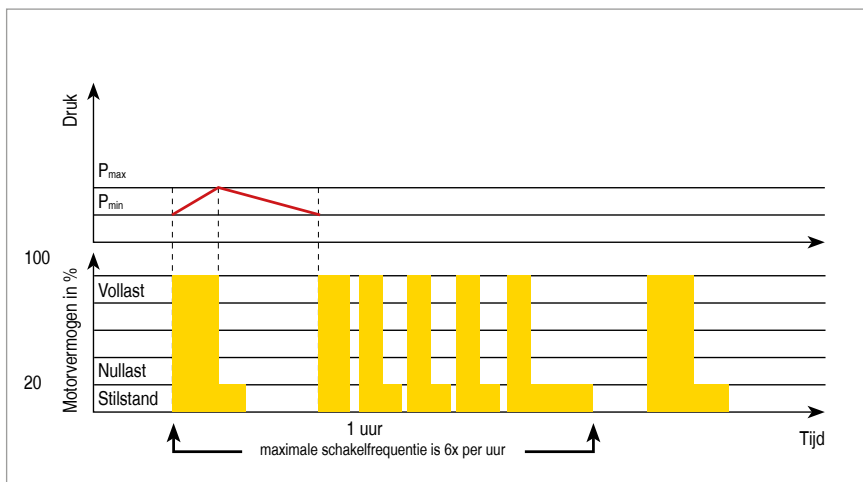
Moderne machineoverkoepelende sturingen met webgebaseerde software kunnen niet alleen de werking van de compressoren in een persluchtstation optimaal en energie-efficiënt coördineren. Ze kunnen ook rendabiliteitsgegevens registreren en de efficiëntie van de persluchtvoorziening documenteren.

a) Splitting van de installatie

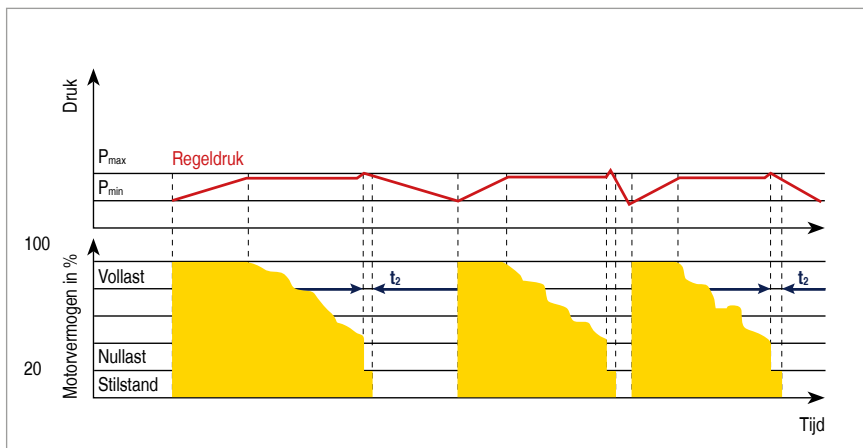
Splitting is het opdelen van compressoren met dezelfde of verschillende capaciteiten en sturingswijze, afhankelijk van het basislast- en piek-



Afb. 3: Dynamische regeling gebaseerd op de duale regeling afhankelijk de temperatuur van de aandrijfmotor



Afb. 4: Varioregeling met variabel berekende nullastfasen



Afb. 5: Permanente capaciteitsregeling via het motortoerental (frequentieomrichting)

Hoofdstuk 6

Efficiënte compressorbesturing

last-persluchtverbruik van een bedrijf (afb. 6).

b) Taken van overkoepelende besturingen

De coördinatie van het compressorbedrijf is een veeleisende en veelomvattende taak. Machineoverkoepelende besturingen moeten niet alleen in staat zijn om verschillende typen compressoren met verschillende capaciteiten op het juiste moment in te schakelen.

Ze moeten bovendien ook de installaties onderhoudstechnisch monitoren, bedrijfstijden van de compressoren op elkaar afstemmen en storingen verwerken om de servicekosten van een persluchtstation te verlagen en de bedrijfszekerheid te verhogen.

c) Juiste afstemming

Een belangrijke voorwaarde voor een efficiënte – d.w.z. energiebesparende – machineoverkoepelende besturing is een naadloze afstemming

van de compressoren op elkaar. De som van de capaciteit van de pieklastinstallaties moet derhalve groter zijn dan de volgende in te schakelen basislastinstallatie. Bij gebruik van een toerentalgeregelde pieklastinstallatie moet het regelbereik groter zijn dan de capaciteit van de volgende in te schakelen compressor. Anders kan het rendement van de persluchtvoorziening niet worden gegarandeerd.

d) Gegarandeerde gegevensoverdracht

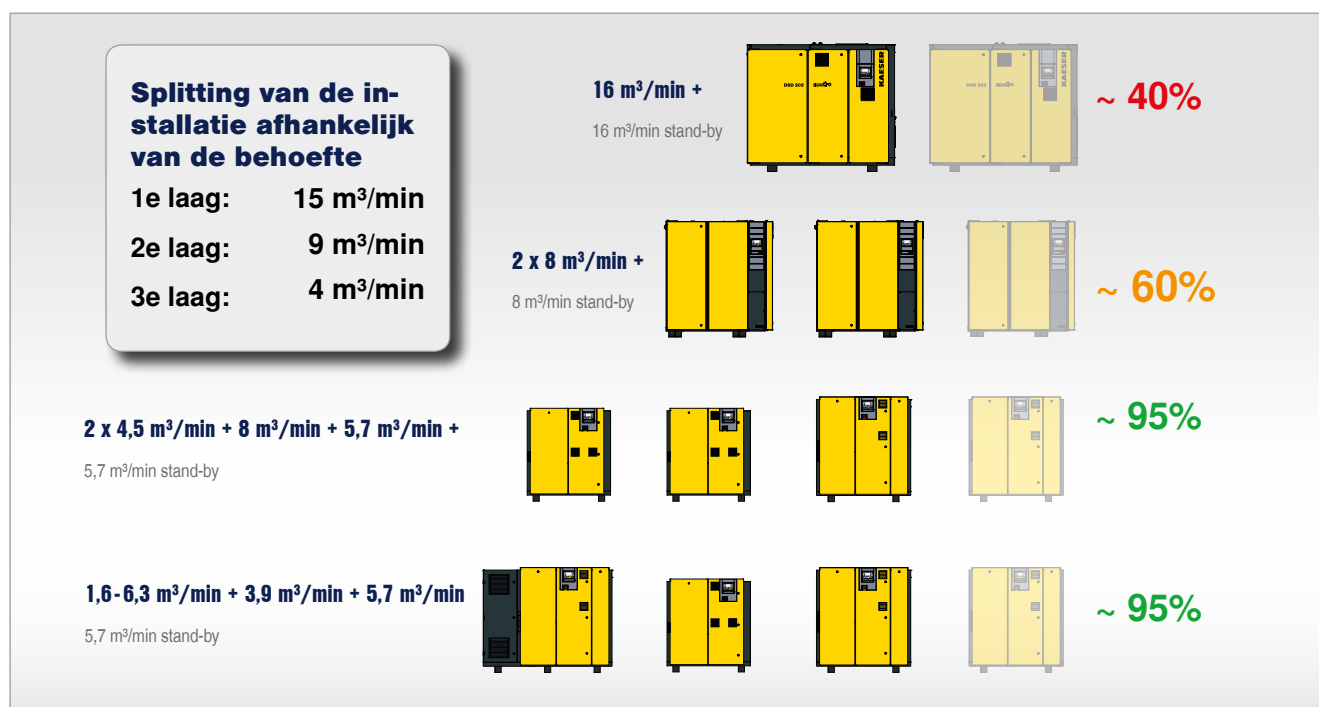
Een andere essentiële voorwaarde voor het perfect functioneren en de efficiëntie van een machineoverkoepelende besturing is een gegarandeerde gegevensoverdracht.

Daarom moet gegarandeerd zijn dat niet alleen meldingen binnen de afzonderlijke compressorinstallaties maar ook tussen de compressoren en het overkoepelende besturingssysteem worden overgedragen. Bovendien moeten ook de signaalwegen worden

gemonitord zodat storingen, zoals draadbreek van een verbindingkabel onmiddellijk worden gedetecteerd.

De normale overdrachtswegen zijn:

1. Potentiaalvrije contacten
 2. Analoge signalen 4 – 20 mA
 3. Elektronische interfaces, bijv. RS 232, RS 485, Profibus DP of Ethernet.
- De Profibus biedt de modernste overdrachtstechniek. Via deze weg kunnen probleemloos grote hoeveelheden gegevens in zeer korte tijd over grote afstanden worden overgedragen. In combinatie met Ethernet- en moderne telefoontechniek ontstaat de mogelijkheid om een koppeling met gestandaardiseerde computer- en monitoringsystemen tot stand te brengen. Daarom hoeven overkoepelende besturingssystemen niet noodzakelijkerwijs in het persluchtstation te worden geïnstalleerd (afb. 7).



Afb. 6: Verbruikafhankelijke lastverdeling over compressoren met verschillende capaciteiten



Afb. 7: Uitgebreide aansluitmogelijkheden van een overkoepelende besturing dragen bij aan een efficiënte werking van een persluchtstation

Hoofdstuk 7

Optimale verbruiksgeoriënteerde afstemming van compressoren

Persluchtstations bestaan meestal uit meerdere compressoren met dezelfde of verschillende capaciteit(en). Om deze afzonderlijke machines te coördineren is een machineoverkoepelende besturing nodig: De persluchtgeneratie moet optimaal op de behoefte van de gebruiker worden afgestemd, terwijl tegelijkertijd de maximale energie-efficiëntie behaald moet worden.

De doorgaans als compressorsturingen aangeduide systemen moeten volgens de regeltechniek als regelingen worden beschouwd. Ze kunnen in vier groepen worden onderverdeeld:

1. Cascaderegeling

De klassieke manier om compressoren regeltechnisch te verbinden is de cascaderegeling. Daartoe krijgt elke compressor een onderste en bovenste schakelpunt toegewezen. Als meerdere compressoren gecoördineerd moeten worden, ontstaat er een getrapt of cascadeachtig regelsysteem. Terwijl bij een laag luchtverbruik slechts één compressor wordt geschakeld en de druk in het bovenste bereik tussen de minimumdruk (p_{\min}) en de maximumdruk (p_{\max}) van deze compressor

schommelt, daalt de druk bij een groter luchtverbruik en meerdere compressoren (afb. 1, kolom 1).

Hierdoor ontstaat een relatief ongunstige situatie: Bij een laag luchtverbruik heerst er maximale druk in het systeem en stijgen de energieverliezen door lekken. Bij een hoog verbruik echter daalt de druk en neemt de drukreserve in het systeem af.

Al naar gelang of conventionele membraandrukschakelaars, contactmanometers of elektronische drukopnemers worden gebruikt, is de drukverdeling van het regelsysteem door de afzonderlijke aan een bepaald drukbereik toegewezen compressoren zeer groot. Des te meer compressoren worden gebruikt, des te groter worden de drukbereiken. Dit leidt tot een ineffektieve regeling met de al genoemde hogere drukken, lekken en energieverliezen. Daarom moeten cascaderelingen door andere regelingen worden vervangen als meer dan twee compressoren worden gecombineerd.

2. Drukbandregeling

In tegenstelling tot de cascaderegeling biedt de drukbandregeling (afb. 1, kolom 2) de mogelijkheid om het

gebruik van meerdere compressoren in een bepaald drukbereik te coördineren. Daarmee kan het drukbereik waarbinnen het totale persluchtstation wordt geregeld relatief sterk worden begrensd.

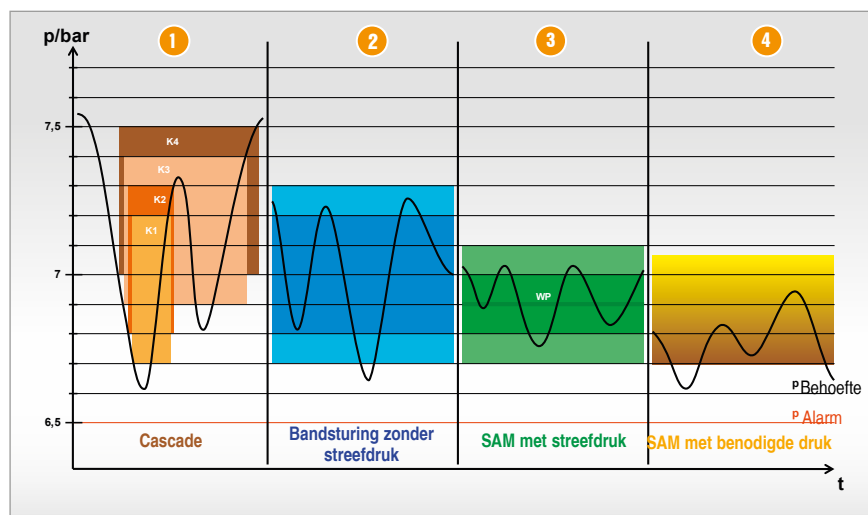
2. a) Eenvoudige drukbandregeling

Eenvoudige versies van de drukbandregeling kunnen echter geen compressoren met verschillende capaciteiten coördineren: ze kunnen daarom niet worden ingezet de pieklasten in persluchtnetten op te vangen, waarbij aan een continu wisselende vraag moet worden voldaan.

Daarom is deze procedure uitgebreid met een systeem dat probeert aan de hand van de drukval- en stijgingstijden de passende compressoren aan te sturen en zo de persluchtbehoefte bij de pieklast af te dekken. Voor deze regelkarakteristiek is echter een relatief grote spreiding van de drukband vereist (afb. 2). Bovendien wordt, net als bij de cascaderegeling, geen rekening gehouden met de reacties van de compressoren en het persluchtnet. Zo kan het gebeuren dat het minimaal mogelijke drukpunt wordt onderschreden. Daarom moet een veiligheidsafstand worden aangehouden tussen de benodigde minimumdruk en de onderste schakeldruk van de regeling.

2. b) Streefdrukgeoriënteerde drukbandregeling

De streefdrukgeoriënteerde drukbandregeling zorgt voor een enorme verbetering (afb. 1, kolom 3). Deze streeft ernaar een bepaalde voorinstelde streefdruk te handhaven en kan afhankelijk van het persluchtverbruik compressoren met verschillende capaciteiten aansturen. Het bijzondere voordeel van deze regelingsvariant is dat de gemiddelde werkdruk van het persluchtstelsel kan worden verlaagd waardoor aanzienlijke energie- en kostenbesparingen mogelijk zijn.

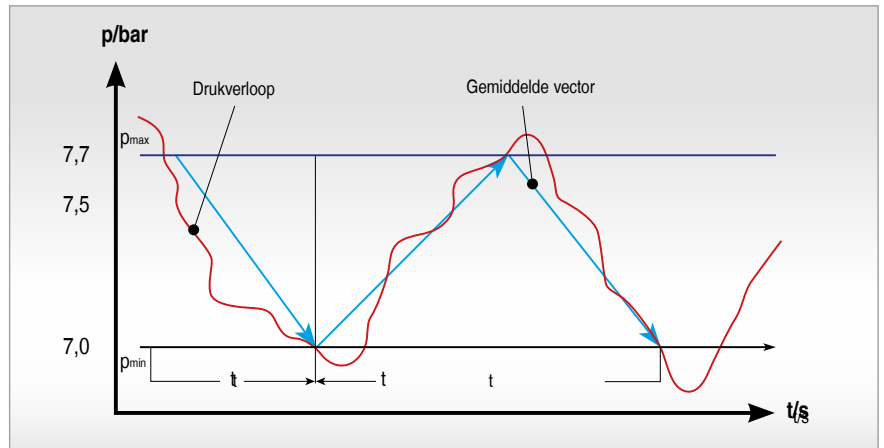
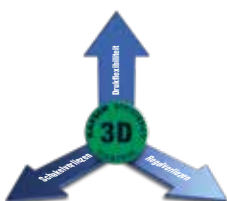


Afb. 1: Verschillende varianten van overkoepelende compressorregelingen

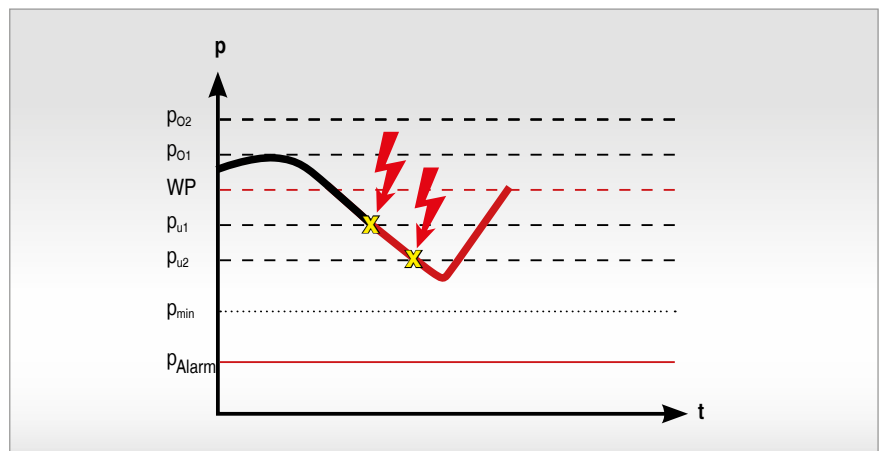
3. Drukbehoefteregeling

De drukbehoefteregeling (afb. 1, kolom 4) is momenteel het regeltechnisch optimale regelsysteem. Bij deze variant worden geen minimum- of maximumdrukgrenzen voorgeschreven, maar alleen de laagst mogelijke werkdruk die bij het meetpunt van de druksensor niet onderschreden mag worden (afb. 3). De regeling berekent het optimale schakelmoment en kiest de compressoren, en houdt daarbij rekening met alle mogelijke verliezen veroorzaakt door drukverhoging, opstarttijden, reactietijden en nullastfasen evenals door toerentalregeling van de afzonderlijke installaties. Door de kennis van de afzonderlijke reactietijden kan het systeem voorkomen dat de minimaal mogelijke benodigde druk wordt onderschreden (afb. 4).

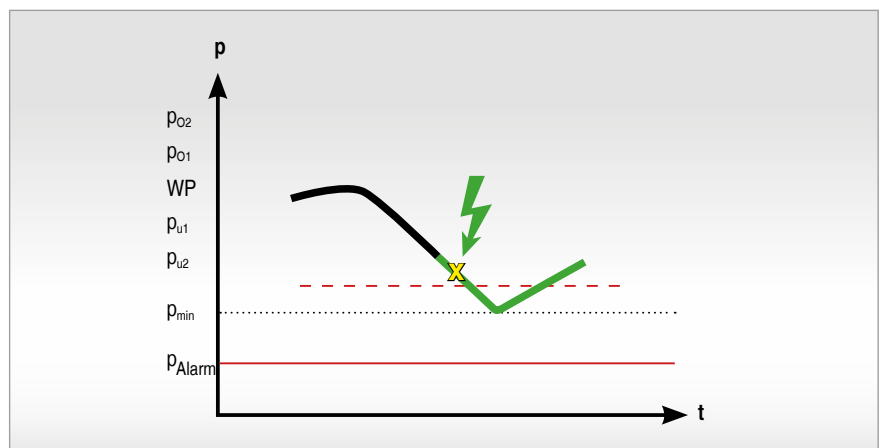
Met dit nieuwe procedé van de adaptieve 3D^{advance}-regeling, dat in de overkoepelende besturing SIGMA AIR MANAGER 4.0 wordt gebruikt, is het mogelijk om de energiebehoefte in vergelijking met de streefwaardegeoriënteerde drukbandregeling nog verder te verlagen. Tegelijkertijd wordt voorkomen dat een vooringesteld drukniveau wordt onderschreden. Het is indrukwekkend hoe eenvoudig de exploitant de drukbehoefteregeling zelf kan instellen.



Afb. 2: Rekeninghoudende met alle regeltechnische verliezen wordt de optimale druk ingesteld



Afb. 3: Bij de drukbehoefteregeling wordt geen minimum- en maximumdruk voorgeschreven



Afb. 4: Het systeem voorkomt dat de minimaal benodigde druk wordt onderschreden

Hoofdstuk 8

Energie besparen met warmteterugwinning

Het spaarzamer omgaan met energiebronnen is met het oog op de constant stijgende energieprijzen niet alleen een ecologische maar ook een economische noodzaak. Fabrikanten van compressoren bieden hiervoor veel mogelijkheden aan, zoals warmteterugwinning bij schroefcompressoren.

1. Compressoren genereren in de eerste plaats warmte

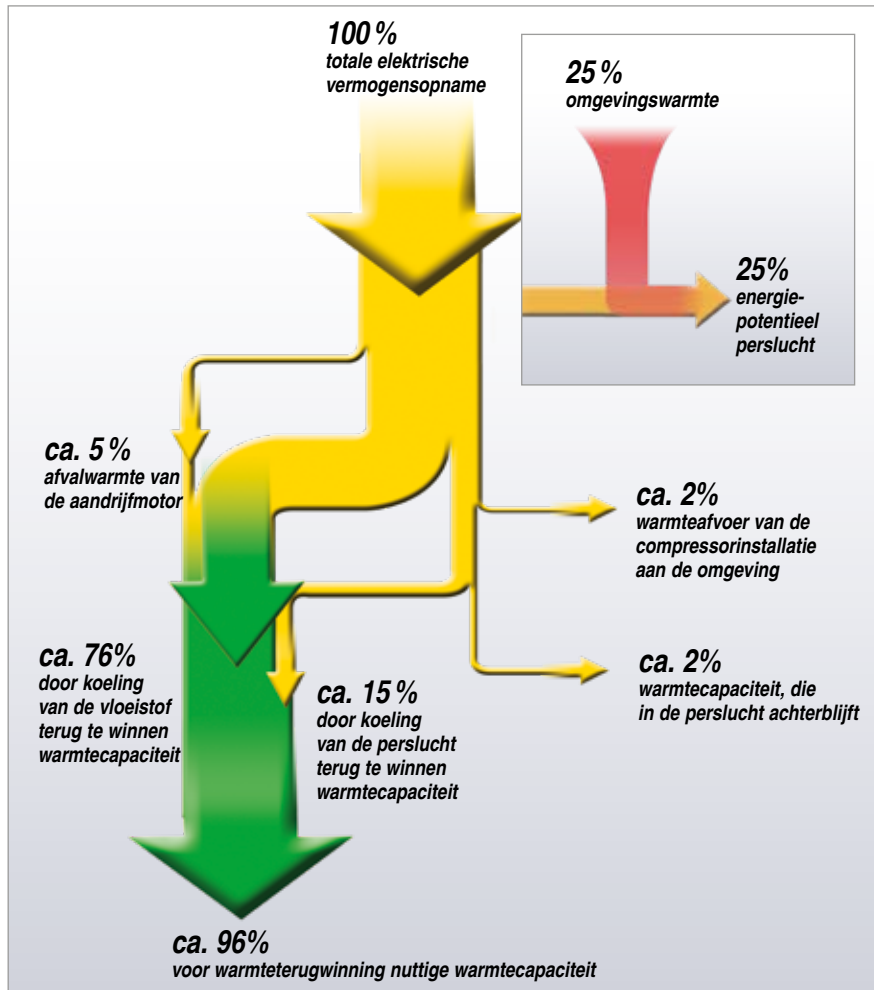
Het is een feit dat 100% van de door een compressor opgenomen energie in warmte wordt omgezet. Door comprimering wordt de lucht in de compressor opgeladen met een energiepotentieel (afb. 1). Deze hoeveelheid energie kan worden gebruikt door ontspanning tot omgevingsdruk, afkoeling en warmteopname uit de omgeving.

2. Mogelijkheden van de warmteterugwinning

Wie geïnteresseerd is in een nog rendabeler persluchtgebruik, kan kiezen uit verschillende varianten voor warmteterugwinning:

a) Warmeluchtverwarming

De eenvoudigste manier om warmte terug te winnen bij lucht- en oliegekoelde resp. vloeistofgekoelde schroefcompressoren is het direct gebruiken van de koellucht die door de compressor is verwarmd. Daarbij wordt de afvalwarmte via een luchtkanaalsysteem in de te verwarmen ruimtes geleid. Natuurlijk kan de warme lucht ook voor andere doeleinden worden gebruikt, zoals voor droogprocessen, voor warmeluchtgordijnen of voor het voorverwarmen van lucht voor branders. Als er geen warmte gebruikt kan worden, wordt de warme luchtstroom manueel of automatisch via een registerklep naar buiten geleid. Met een thermostatisch geregelde registersturing kan de warme lucht nauwkeurig worden gedoseerd zodat constante temperaturen bereikt kunnen worden.



Afb. 1: Warmtestroomdiagram

Met deze variant kan tot wel 96% van het opgenomen elektrische vermogen van een schroefcompressor worden gebruikt. Dit loont ook de moeite bij kleine installaties, want de afvalwarmte van een kleine compressor van 7,5 kW is voldoende om een eengezinswoning te verwarmen.

b) Warmwaterverwarming

Door inbouw van een warmtewisselaar in het vloeistofcircuit kan zowel met lucht- alsook met watergekoelde schroefcompressoren warm water voor verschillende doeleinden worden

Afb 3: Aansluiting volgen de voorschriften van compressoren aan een warmteterugwinningssysteem



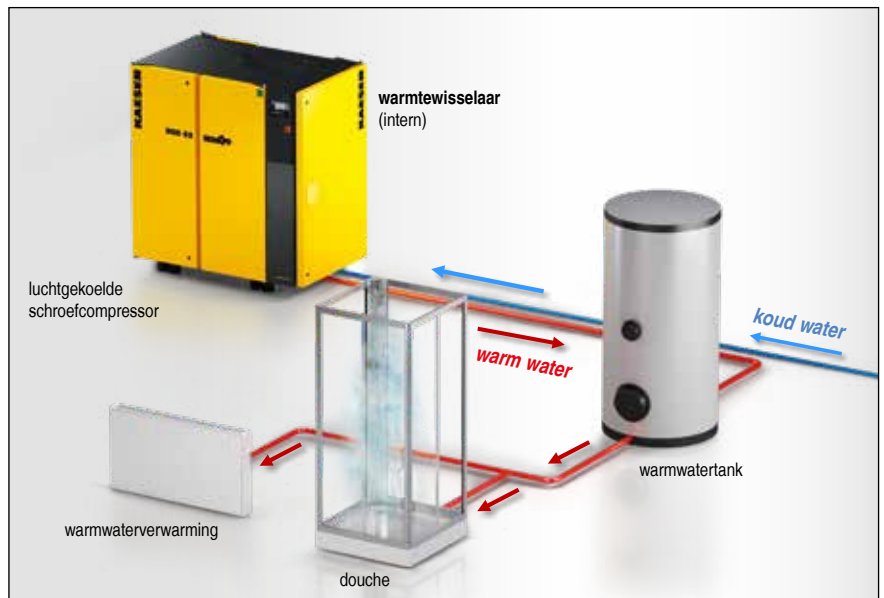
geproduceerd. Hiervoor worden platenwarmtewisselaars of veiligheids-warmtewisselaars gebruikt – afhankelijk of het warme water voor verwarming of als douche- en badwater wordt gebruikt of gebruikt moet worden in productie- en reinigingsprocessen. Met deze warmtewisselaars zijn watertemperaturen tot 70 °C mogelijk. De extra kosten voor de warmteterugwinnings-variant zijn bij compressorinstallaties met een aandrijfvermogen vanaf 7,5 kW binnen twee jaar terugverdiend. Een correcte planning is hiervoor echter wel een voorwaarde.

3. Veiligheid in acht nemen

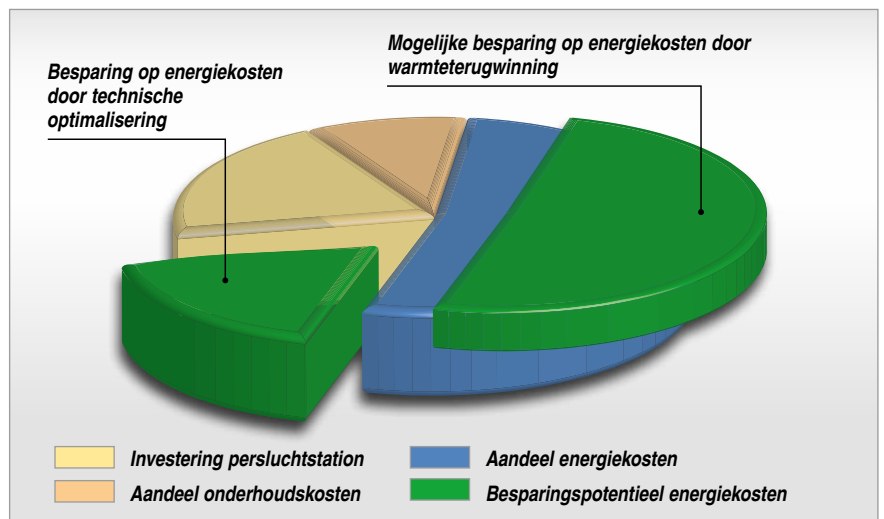
Normaal gesproken mag het primaire koelsysteem van de compressor nooit tegelijkertijd als warmteterugwinningsysteem worden gebruikt. Bij een eventuele uitval van de warmteterugwinning zou anders ook de compressorkoeling en daarmee de persluchtgeneratie in het gedrang komen. Daarom moeten voor de warmteterugwinning altijd specifieke warmtewisselaars in de compressorinstallatie worden geïntegreerd. Bij een storing kan de compressor dan zelf over zijn veiligheid waken: Als er namelijk geen warmte wordt afgevoerd via de vloeistof-waterwarmtewisselaar, schakelt de compressor intern om op het primaire lucht- of waterkoelsysteem. Hierdoor blijft de persluchtvoorziening toch gegarandeerd (afb. 2 en 3).

4. Tot 96% te benutten energie

Het grootste deel van de toegevoerde en als warmte benutbare energie, te weten 76%, is bij compressoren met olie- of vloeistofinspuitkoeling terug te vinden in het koelmedium, 15% zit in de perslucht en wel 5% in het warmteverlies van de elektrische aandrijfmotor. Bij volledig ingekapselde olie- of vloeistofgekoelde schroefcompressoren kunnen zelfs deze energieverliezen van de elektromotor met een gerichte



Afb. 3: Schema warmteterugwinning



Afb. 4: Warmteterugwinning biedt aanzienlijke extra energiebesparingsmogelijkheden

koeling als warmte-energie worden teruggewonnen. In totaal is dus maximaal 96% van de energie die voor de compressor wordt gebruikt thermisch bruikbaar.

Slechts 2% gaat door warmteafstraling verloren en 2% van de warmte blijft in de perslucht achter (afb. 1).

5. Conclusie

Warmteterugwinning is een overweenswaardige mogelijkheid om de rendabiliteit van een persluchtinstallatie te verhogen en tegelijkertijd het milieu te ontzien. De investeringskosten zijn relatief gering. De hoogte van de investeringskosten is afhankelijk van de plaatselijke situatie in het bedrijf van de klant, het gebruiksdoel en het gekozen warmteterugwinningsprocedé (afb. 4).

Hoofdstuk 9

Planning van een nieuw persluchtnet

Perslucht is pas een rendabele energiedrager als het genereren, behandelen en verdelen ervan zo goed mogelijk op elkaar zijn afgestemd. Daarvoor moeten niet alleen de planning en de uitvoering van het persluchtstation zelf correct zijn, maar ook de dimensionering en installatie van het persluchtnet.

1. Rendabele persluchtgeneratie

Als rekening wordt gehouden met alle kosten voor energie, koelmiddelen, onderhoud en afschrijvingen, dan kost een kubieke meter perslucht afhankelijk van de grootte, de belasting, de onderhoudstoestand en het type compressor ongeveer 0,5 tot 2,5 cent. Veel bedrijven hechten daarom grote waarde aan een rendabele persluchtgeneratie. Dat is ook een verklaring voor het succes van de olie- resp. vloeistofgekoelde schroefcompressoren: hiermee is een besparing mogelijk van wel 20% van de kosten die voorheen bij de persluchtgeneratie ontstonden.

2. De behandeling beïnvloedt het persluchtnet

Al heel wat minder aandacht wordt besteed aan een op de behoeften afgestemde persluchtbehandeling. Dat is jammer, want alleen goed behandelde perslucht zorgt voor lage onderhoudskosten voor persluchtverbruikers en het leidingnet. Waar leidingen vochtige, nog niet gedroogde perslucht transporteren, moeten in elk geval leidingen worden gebruikt die tegen corrosie zijn beschermd. Houd er rekening mee dat in slechte staat verkerende leidingen de met het luchtbehandelingssysteem bereikte kwaliteit weer verslechteren.

a) Koeldrogers reduceren de onderhoudsbehoefte

In ca. 80% van alle gevallen volstaan koeldrogers voor het behandelen van de perslucht. Vaak wordt het gebruik van filters in het leidingnet overbodig, en bedragen de energiekosten slechts

ongeveer 3% van de kosten om de compressor eenzelfde persluchtvolume te laten genereren. Daarbij komt dat de kostenbesparingen door de lage onderhouds- en reparatiekosten van leidingen en persluchtverbruikers kan oplopen tot het tienvoudige van wat koeldroging kost.

b) Ruimtebesparende combinatieapparaten

Voor kleinere bedrijven of decentrale verzorging zijn ook ruimtebesparende combinaties van schroefcompressor, koeldroger en persluchtketel (afb. 1) op de markt verkrijgbaar.

3. Planning en installatie van een nieuw persluchtnet

Vooraf moet duidelijk zijn of de persluchtvoorziening centraal of decentraal opgebouwd moet zijn. Voor kleine en middelgrote bedrijven heeft een centrale installatie de voorkeur: De problemen die vaak optreden bij een groot en sterk vertakt persluchtnet, zoals hoge installatiekosten, bevroeringsgevaar in de winter bij onvoldoende geïsoleerde buitenleidingen en een groter drukverlies door lange leidingen, komen hier niet voor.



Afb. 1: Modern compact persluchtstation AIRCENTER voor een ruimtebesparende persluchtgeneratie, -behandeling en -opslag

a) Het net correct dimensioneren

Voor het dimensioneren van het leidingnet moet altijd een berekening worden gemaakt. Het grondbeginsel is een maximaal drukverlies van 1 bar tussen de compressor en de persluchtverbruikers, inclusief schakelverschil van de compressor en de gebruikelijke standaardpersluchtbehandeling (koeldroging). Meer specifiek wordt met de volgende drukverliezen rekening gehouden (afb. 2):

1 Hoofdleiding	0,03 bar
2 Verdeelleiding 0,03 bar	
3 Aansluitleiding 0,04 bar	
4 Droger	0,20 bar
5 Onderhoudseenheid en slang	0,50 bar
in totaal max.	0,80 bar

Deze opstelling toont aan hoe belangrijk het is om de drukverliezen in de afzonderlijke leidingsecties te berekenen. Houd daarbij ook rekening met appendages en afsluiters. Het is niet voldoende om alleen de meters rechte leiding in een formule of tabel te zetten. Het is de bedoeling dat de totale lengte van de leidingen wordt bepaald. Normaal gezien is bij aanvang van de planning nog niet duidelijk hoeveel appendages en afsluiters in totaal worden gebruikt. Daarom wordt de totale leidinglengte berekend door de te plaatsen rechte stukken met de factor 1,6 te vermenigvuldigen. De leidingdiameters kunnen dan aan de hand van gangbare formules (afb. 3) of diagrammen eenvoudig worden berekend (bijlage 1, pagina 54).

Met behulp van de KAESER toolbox (<http://www.kaeser.de/service/wissen/rechner>) kunnen ook ontwerpen worden gemaakt.

b) Leidingen energiebesparend leggen

Om energie te besparen dient het leidingnet zo recht mogelijk gelegd te



Afb. 2: Hoofdc componenten van een persluchtverdeelstelsel: hoofdleiding (1), verdeelleiding (2), aansluitleiding (3), droger (4), onderhoudseenheid/slang (5)

worden. Bochten, bijvoorbeeld bij het omzeilen van steunpilaren, kunnen worden vermeden door de leiding in rechte lijn naast het obstakel te leggen.

Benaderingsformule:

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

d_i = binnendiameter van de leiding (m)
 p_s = systeemdruk (absoluut in Pa)

L = nominale lengte (m)

V = volumestroom (m^3/s)

Δp = drukverlies (Pa)

Afb. 3: Benaderingsformule voor het bepalen van leidingdiameters

Scherpe hoeken, bijvoorbeeld hoeken van 90° die hoge drukverliezen veroorzaken, kunnen ook gemakkelijk door ruim gedimensioneerde bochten van 90° worden vervangen. De nog vaak aangetroffen waterafsluiters moeten worden vervangen door kogelkranen of klepventielen met volledige doorgang. In de vochtige zone, bij een modern

persluchtstation enkel in de compressorruimte, moeten de toe- en uitgangen van de hoofdleiding naar boven op zijn minst zijdelings gelegd worden. De hoofdleiding moet een afschot van 2 promille hebben. Op het laagste punt van deze leiding moet een condensaatafscheidingsmogelijkheid worden voorzien. In het droge bereik daarentegen kunnen de leidingen horizontaal worden gelegd en moeten de leidinguitgangen naar onderen gericht zijn.

c) Welk leidingmateriaal is geschikt?

Met het oog op de materiaaleigenschappen kan geen bepaald advies worden gegeven. Alleen in compressoren moeten gezien de hoge thermische belastingen altijd metalen leidingen worden gebruikt. Evenmin kan de keuze van het materiaal alleen op de inkooprijzen worden gebaseerd: verzinkte buizen, koperen of kunststofbuizen kosten ongeveer evenveel als materiaal- en installatiekosten bij elkaar worden opgeteld. De prijzen voor roestvaststalen leidingen liggen

ongeveer 20% hoger. Efficiëntere verwerkingsmethoden hebben ook hier inmiddels tot prijsdalingen geleid.

Inmiddels bieden al heel wat fabrikanten tabellen aan waarin de optimale omstandigheden voor elk soort leidingmateriaal staan vermeld. Alvorens een investeringsbeslissing te nemen is het daarom raadzaam om deze tabellen goed te bestuderen, rekening te houden met de belastingen in het toekomstige productieproces en om daarna een eisenpakket voor de leidingen op te stellen. Alleen zo kan een goede keuze worden gemaakt.

d) Belangrijk: de juiste verbindingstechniek

De leidingsecties moeten met elkaar worden verbonden door lassen, lijmen of schroeven. Hoewel het losmaken daardoor moeilijker is, kan zo het risico van mogelijke lekken tot een minimum worden beperkt.

Hoofdstuk 10

Persluchtnetsanering

Jaarlijks gaan in veel bedrijven duizenden euro's letterlijk in lucht op. De oorzaak: Een verouderd en/of slecht onderhouden leidingnet drijft het energieverbruik van het persluchtsysteem op. Wie dit euvel wil verhelpen, moet weloverwogen te werk gaan. Hierna volgen een aantal tips om persluchtleidingnetten op de juiste wijze te saneren.

1. Basisvoorwaarde: droge perslucht

Bij het plannen van een nieuw persluchtnet kunnen van meet af aan veel fouten en dus later optredende problemen worden voorkomen. Het saneren van een oud net daarentegen is vaak problematischer. Het is een bijna hopeloze zaak wanneer vochtige perslucht in het net wordt gevoed. Al bij het begin van de sanering moet in elk geval een centrale drogingseenheid beschikbaar zijn.

2. Wat helpt bij een te grote drukval in het net?

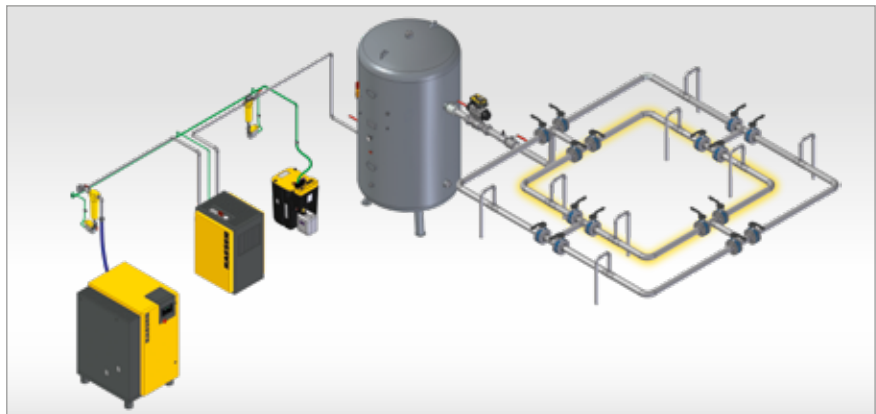
Is de drukvermindering in het leidingnet ook nog zeer groot na de installatie van aangepaste behandelingscomponenten, dan zijn afzettingen in de buizen de oorzaak. Ze ontstaan door verontreinigingen die met de perslucht worden meegevoerd en die de beschikbare doorstroomdiameter tot een minimum herleiden.

a) Vervangen of doorblazen

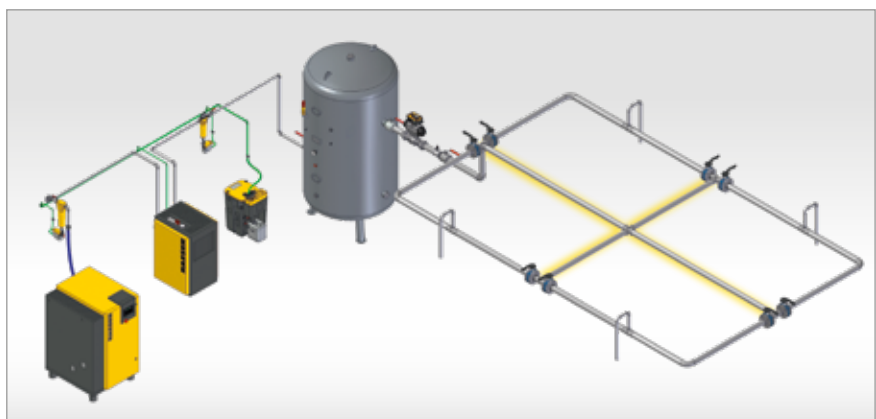
Indien deze afzettingen verhard zijn, helpt in de meeste gevallen alleen een vervanging van de betreffende leidingen. Wanneer de afzettingen nog niet geleid hebben tot aanzienlijke vernauwingen, kan de doorstroomdiameter vaak worden vergroot door het doorblazen en opdrogen van de leidingen.

b) Extra leidingen installeren

Een doeltreffende manier om vernauwde steekleidingen compenseren is



Afb. 1: Een persluchtleiding saneren door een tweede ringleiding te installeren



Afb. 2: Leidingcapaciteit vergroten door tussenstukken

het aanleggen van een parallelle leiding die op de steekleiding is aangesloten. Bij te sterk vernauwde ringleidingen is het installeren van een tweede ring (afb. 1) een goede oplossing.

Correct gedimensioneerde parallelleidingen of tweede ringleidingen reduceren niet alleen het drukverlies aanmerkelijk, maar bieden daarbij ook nog het voordeel van een nog betrouwbaardere persluchtverdeling.

Een andere saneringsmogelijkheid voor ringleidingen is het verwijderen van het systeem met tussenstukken (afb. 2).

3. Lekken opsporen en verhelpen

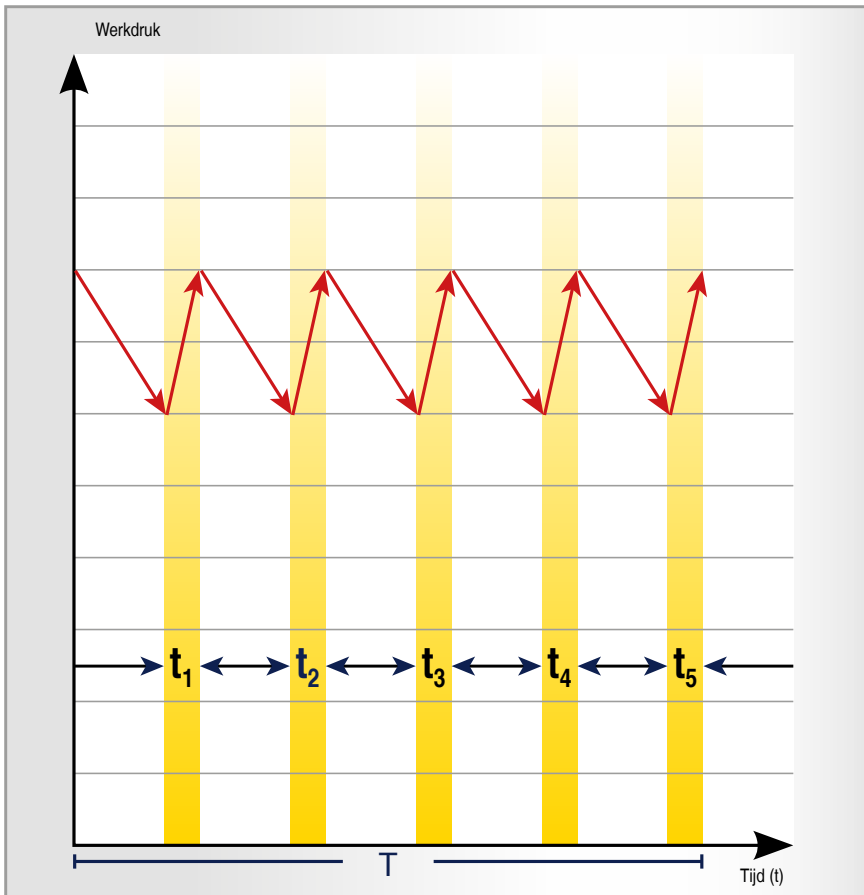
Saneringsmaatregelen leiden alleen dan tot een optimaal resultaat als ook

de lekken in het persluchtnet zoveel mogelijk worden verwijderd.

a) Vaststellen van het totale lekvolume

Alvorens op zoek te gaan naar afzonderlijke lekken in het persluchtsysteem, moet de totale omvang van lekken te worden bepaald. Daarvoor is er een eenvoudige methode: Eerst worden alle persluchtverbruikers uitgeschakeld. Vervolgens wordt de inschakelduur van de compressor gedurende een bepaalde periode gemeten (afb. 3). Op basis van deze kan het lekvolume worden berekend met de volgende formule:

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



Afb. 3: Lekken opsporen door de inschakeltijden van de compressor te meten bij uitgeschakelde persluchtverbruikers

Legenda:

VL = lekvolume (m³/min)

VK = capaciteit van de compressor (m³/min)

$\Sigma t_x = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$
tijd waarin de compressor belast liep (min)

T = totale tijd (min)

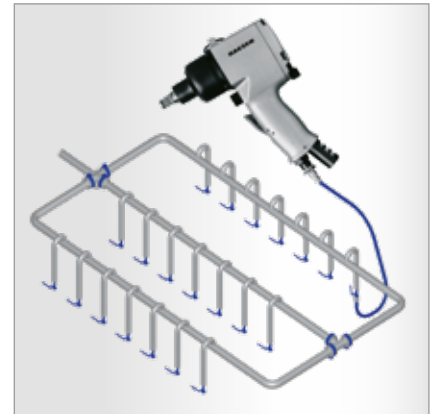
b) Lekken opsporen bij de verbruikers

Sluit, om lekken bij gedecentraliseerde luchtverbruikers op te sporen, eerst alle pneumatisch aangedreven gereedschappen, machines en apparaten aan en meet de som van alle lekken (afb. 4). Sluit vervolgens alle afsluiters voor de aansluitingen van de verbruikers en meet de lekken in het leidingnet (afb. 5).

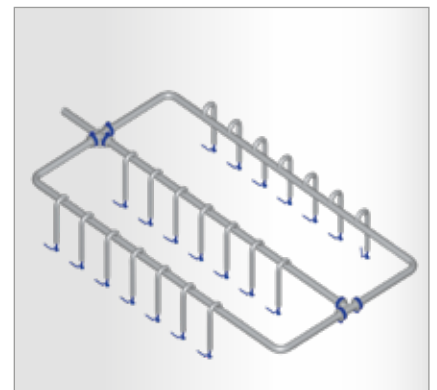
Het verschil tussen het totale lekvolume en de netlekken is uiteindelijk het verlies bij de luchtverbruikers, de appendages en fittings.

4. Waar bevinden zich de meeste lekken?

De ervaring leert dat ongeveer 70% van de lekken in de laatste meter van de meters zit, dus aan de eindafnameplaatsen van het persluchtnet. Deze lekken kunnen met een zeepoplossing of een speciale spray precies worden gelokaliseerd. Hoofdleidingen vertonen alleen dan talrijke en grote lekken als het oorspronkelijk om een vochtig net ging dat met hennepakkingen is uitgerust en waarin droge lucht werd gebruikt. De hennepakkingen drogen hierdoor na enige tijd uit. Voor het precies lokali-



Afb. 4: Lekmeting bij de persluchtverbruikers + leidingnet



Afb. 5: Lekmeting in het leidingnet

seren van lekken in het hoofdleidingnet is het raadzaam om een apparaat met ultrasonische golven te gebruiken. Als de lekken zijn gelokaliseerd en gedicht, en als de leidingdiameters aan het persluchtverbruik zijn aangepast, is het oude net (weer) een rendabel persluchtverdeelstelsel geworden.

Hoofdstuk 11

Persluchtverbruiksanalyse (ADA): Werkelijke situatie bepalen

Moderne persluchtstations zijn veelal complexe systemen. Voor een rendabele exploitatie moet hier bij het plannen, uitbreiden of moderniseren terdege rekening worden gehouden. Hiervoor biedt KAESER een uitgebreid dienstenconcept aan. Het combineert beproefde elementen zoals persluchtcomponenten, toepassingsadvies en begeleiding met de nieuwe mogelijkheden van de informatietechnologie in de persluchtindustrie.

Het spectrum van persluchtgebruikers loopt van A van automotive tot Z van zeefdruk. Een essentiële voorwaarde voor efficiënt persluchtgebruik in de verschillende sectoren is een betrouwbare productie- en behandelingstechniek. De techniek moet perslucht voordelig en exact in de gedefinieerde hoeveelheid en kwaliteit leveren.

1. Advies is bepalend voor rendabiliteit

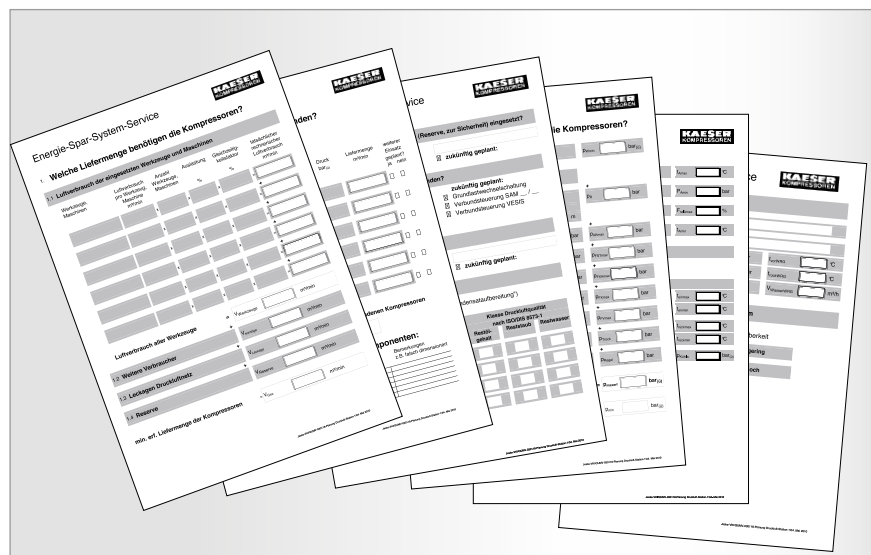
Een persluchtstelsel dat aan deze eisen beantwoordt, moet nauwkeurig zijn afgestemd op de toepassing(en) en de opstellingsplaats evenals op de omgevingsomstandigheden. Dit bete-

kent dat het systeem niet alleen moet bestaan uit correct gedimensioneerde compressoren, luchtbehandelingsapparaten en leidingen maar ook uit een efficiënte besturing, een passende ventilatietechniek en condensaatbehandeling. Indien mogelijk moet ook de warmteterugwinning worden benut. Op dit inzicht is het KAESER energiebesparingsstelsel KESS gebaseerd. Het omvat de analyse van de persluchtbehoefte (afb. 1), realisatie, scholing en klantenservice.

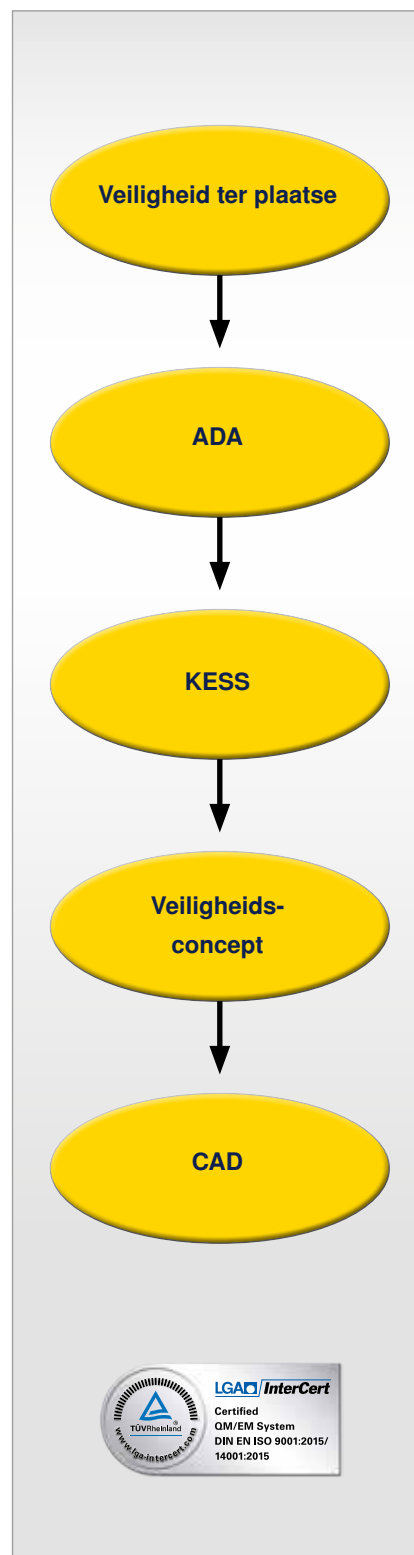
Doorslaggevend hierbij is de kwaliteit van het advies en de keuze van de juiste techniek: De grootste kostenbesparingen zijn mogelijk bij de energiebehoefte en het onderhoud, niet bij de aanschafkosten.

2. Persluchtverbruiksanalyse

Het uitgangspunt van elk KESS-advies is een analyse van het actuele en eventueel toekomstige persluchtverbruik. Deze bij KAESER ADA (Analyse der Druckluft-Auslastung, analyse van het persluchtverbruik) genoemde analyse houdt, afhankelijk van de toepassing, rekening met verschillende randvoorwaarden:



Afb. 2: Vragenlijst "Persluchtstation" voor het opnemen van nieuwe en bestaande installaties (raadpleeg de bijlage vanaf pagina 56)



Afb. 1: Stelsel voor de persluchtanalyse van KAESER Compressoren

Hoofdstuk 11

Persluchtverbruiksanalyse (ADA): Werkelijke situatie bepalen

e) Besturing installatie/monitoring

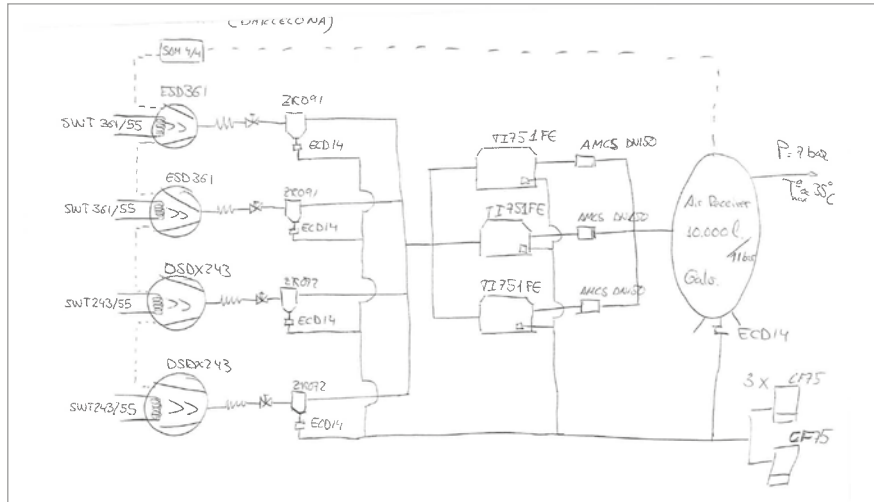
Omdat behalve de eigenschappen van de afzonderlijke compressoren voor hun samenwerking maatgevend is voor het rendement van een station, mag een beschrijving van de besturings- en monitoringtechniek niet ontbreken.

4. Gesprek exploitant/persluchtvakman

Als alle gegevens bekend zijn, moet de persluchtvakman in een voorgesprek eerst worden bekendgemaakt met de verzamelde documenten en moet worden vastgesteld welke problemen er met de persluchtvoorziening zijn. Dat zou een iets te laag of schommelend drukniveau, een slechte luchtkwaliteit of een slechte benutting van de compressoren of problemen met de koeling kunnen zijn.

5. Rondgang langs het persluchtstelsysteem

Het verhelderendste is doorgaans een rondgang langs het persluchtstelsysteem. Daarbij is het raadzaam om bij de meest kritische zone te beginnen, bijvoorbeeld een zone met een naar verwachting grote drukval of slechte luchtkwaliteit (afb. 5). Uit ervaring is gebleken dat dit meestal de eindafnameplaatsen zijn.



Afb. 4: Handmatig getekend stroomschema van een persluchtstation

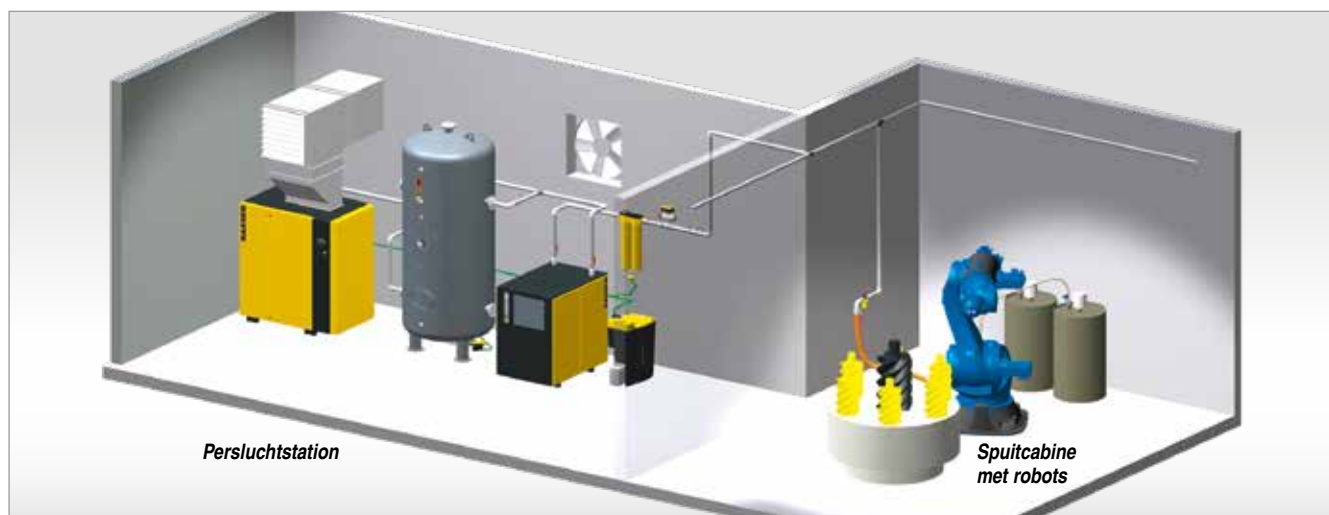
a) Aansluitslangen, drukregelaars, waterafscheiders

In het bijzonder de slangverbindingen met de luchtverbruikers lekken vaak. Controleer deze daarom op beschadigingen en lekken. Als er drukregelaars zijn, moet ook hun instelling (voor- en nadruk) onder belasting worden gecontroleerd (afb. 6).

Controleer waterafscheiders die voor de drukregelaars zijn geïnstalleerd op eventuele vloeistoffen en verontreinigingen. Dit geldt ook voor verticaal omlaaglopende afvoerleidingen (afb. 7).

b) Afsluiters

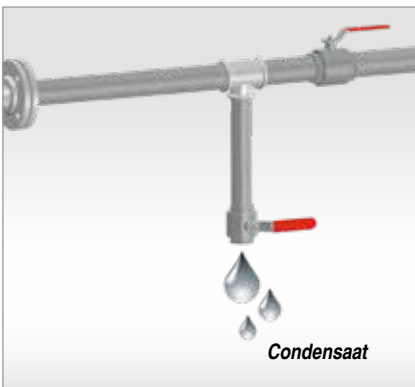
De toestand van de verbindingssleidingen die aftakken van het hoofdnet heeft een grote invloed op de efficiëntie van het systeem. Tot de neurale punten worden ook de afsluiters gerekend. Controleer bijvoorbeeld of het hier stromingsgunstige kogelkranen of kleppen met een volledige doorgang dan wel stromingsongunstige afsluitarmaturen resp. haakse afsluiters betreft.



Afb. 5: Verhelderend: Rondgang langs het persluchtstelsysteem



Afb. 6: Onderhoudseenheid met drukregelaar



Afb. 7: Uitgaande persluchtleding op vochtigheid controleren

c) Hoofdleidingnet

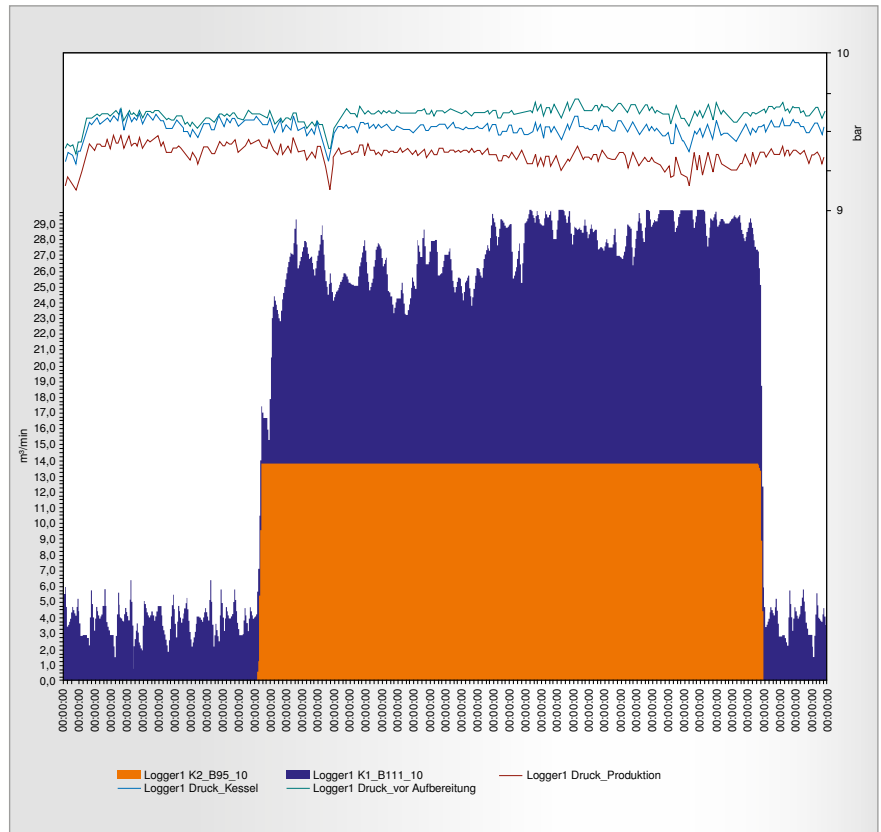
Bij het hoofdleidingnet is het vooral belangrijk om knelpunten als veroorzakers van drukval te identificeren.

d) Persluchtbehandelingssysteem

De belangrijkste controlecriteria hierbij zijn het bereikte drukdauwpunt (droogheidsgraad) en de telkens veroorzaakte verschuldruk. Afhankelijk van het gebruik kunnen ook nog andere kwaliteitscontroles vereist zijn.

e) Persluchtstation

Ook het persluchtstation zelf kan natuurlijk aanzienlijke gebreken vertonen. Meer bepaald moeten de opstelling van de machines, het ventilatiesysteem, de koeling en het leidingwerk worden gecontroleerd. Bovendien moet het totale schakeldrukverschil van de compressoren, de



Afb. 8: De met ADA gemeten structuur van het druk- en persluchtverbruik van een industrieel bedrijf

grootte van de persluchtketels en het meetpunt worden bepaald van waaruit de compressoren worden aangestuurd.

f) Meetpunten bepalen

Na de rondgang legt de persluchtdeskundige samen met de exploitant de meetpunten voor de verbruiksanalyse vast. De minimeis is een drukmeting voor en na de luchtbehandeling en bij de uitgang van het persluchtnet.

6. Druk- en luchtverbruiksmeting (ADA)

Bij het meten van het druk- en luchtverbruik wordt het bedrijf van het persluchtstation en het gehele systeem gedurende minimaal 10 dagen met behulp van een moderne datalogger geanalyseerd. De datalogger registreert de relevante meetwaarden en verzendt deze naar een computer,

die een gedetailleerde verbruiksgrafiek maakt. Deze laat de drukvallen, druk- en verbruiksschommelingen, het nullastgedrag, de last- en stilstandstijden van de compressoren evenals de toewijzing van de capaciteit van elke afzonderlijke compressor ten opzichte van het betreffende persluchtverbruik zien. Voor een compleet beeld moeten tijdens de meting ook de lekken worden opgespoord. Ga hiervoor te werk als beschreven in **hoofdstuk 10, (vanaf pagina 24)**. Hiervoor moeten onder meer bepaalde segmenten van het net in het weekeinde bewust worden afgesloten.

Hoofdstuk 12

Bepalen van het rendabele concept

Door een consequente optimalisering van persluchtssystemen zou een besparing van meer dan 30% van de gemiddelde persluchtkosten mogelijk zijn. De grootste kostenpost met ca. 70 tot 90% is het energieverbruik. Gezien de prijsontwikkeling wordt het voor gebruikers steeds belangrijker om het efficiëntste persluchtconcept te kunnen bepalen.

Met de optimaliseringsberekening van het KAESER-energiebesparingsstelsel (KESS) kan uit meerdere varianten van persluchtvoorziening snel de geschiktste variant voor het betreffende bedrijf worden bepaald. De berekeningsgrondslag voor nieuw geplande systemen vormt de ingevulde vragenlijst. Voor bestaande compressorstations is de berekeningsgrondslag een verloop van een karakteristieke bedrijfsdag die met de ADA-methode is opgesteld (zie vanaf pagina 29, afb. 8).

1. Computergestuurde berekening

Om een station te optimaliseren worden de technische gegevens van de bestaande compressoren en van de mogelijke nieuwe variant in een pc ingegeven. KESS berekent vervolgens de optimale variant en de mogelijkheden om kosten te besparen. Daarbij wordt niet alleen het exacte energieverbruik bij een bepaalde persluchtbehoefte inclusief alle verliezen berekend.

Het is bovendien zelfs mogelijk een nauwkeurig beeld te vormen van het specifieke prestatiegedrag van het compressorstation gedurende de totale looptijd (afb. 1). Zo kunnen eventuele zwakke plekken in het deellastbereik al op voorhand worden opgespoord en verholpen. Het eindresultaat geeft een duidelijk beeld van de haalbare kostenbesparing alsook van de amortisatie.

2. Het zit 'm in de combinatie

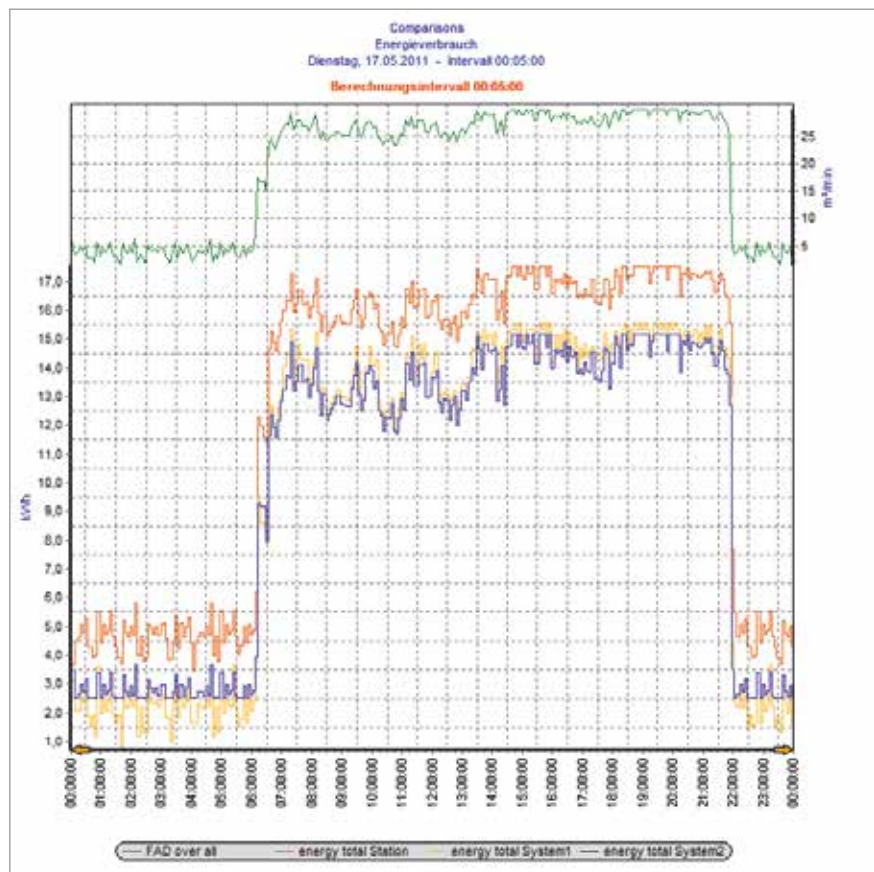
In de meeste gevallen blijkt een nauwkeurig afgestemde configuratie van compressoren van verschillende capaciteit de juiste oplossing te zijn. Ze bestaat voornamelijk uit grote basislast- en stand-by machines die met kleinere pieklastmachines worden gecombineerd.

De machineoverkoepelende sturing moet zorgen voor een zo evenwichtig mogelijke verdeling van de specifieke capaciteitsbehoefte. Daarvoor moet deze automatisch de op dat moment gunstigste combinatie van basis- en pieklastcompressoren kunnen uitkiezen – voor maximaal 16 compressoren met een drukschommeling bereik van slechts 0,2 bar. Aan deze eisen vol-

doen intelligente sturingssystemen zoals de SIGMA AIR MANAGER. Deze besturing kan via een bussysteem gegevens uitwisselen met compressoren en andere componenten zoals condensataaftappunten, drogers, enz. Bovendien kunnen zij worden aangesloten op een centraal sturingssysteem en kan alle bedrijfsgegevens daarheen sturen.

3. Bouwtechnische optimalisatie

Bij het plannen van een nieuw of het moderniseren van een bestaand compressorstation moet de beschikbare ruimte optimaal worden benut. Moderne planningssystemen zoals gebruikt door KAESER bieden hier waardevolle ondersteuning. Deze

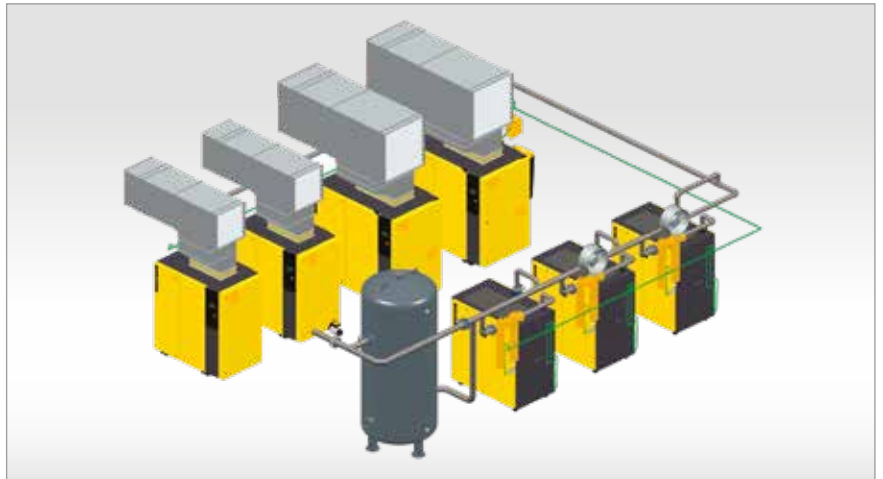


Afb. 1: Vergelijking van het energieverbruik van een bestaand persluchtstation met nieuwe installatievarianten tijdens een werkdag afhankelijk van de persluchtbehoefte

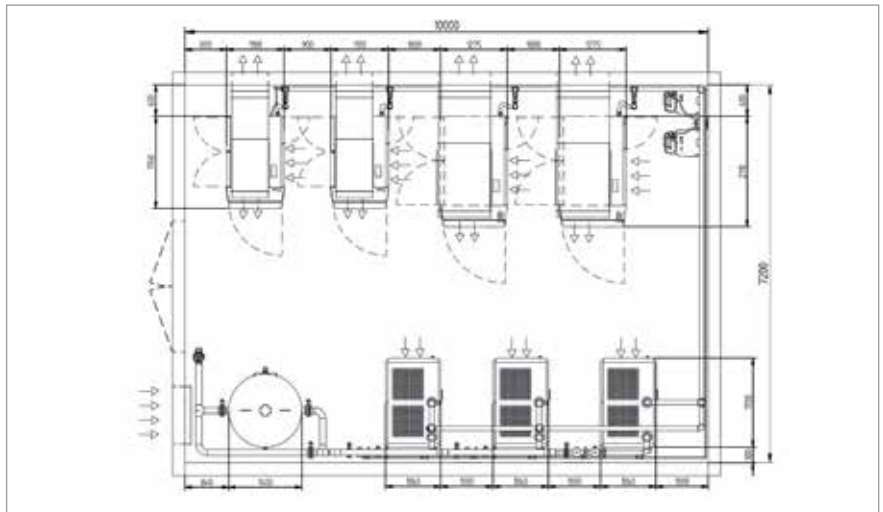
betrekken niet plattegronden en P+I-schema's (stroomschema's) in het planningsproces, maar ook met computergegenereerde 3D-beelden en -animaties. Zo is het bijvoorbeeld, ondanks een krappe ruimte, vaak mogelijk terug te vallen op de rendabele luchtkoeling. Daarmee kan in vergelijking met de dure waterkoeling 30 tot 40% van de kosten worden bespaard. (afb. 2a t/m c).

4. Bedrijfs optimalisatie en controlling

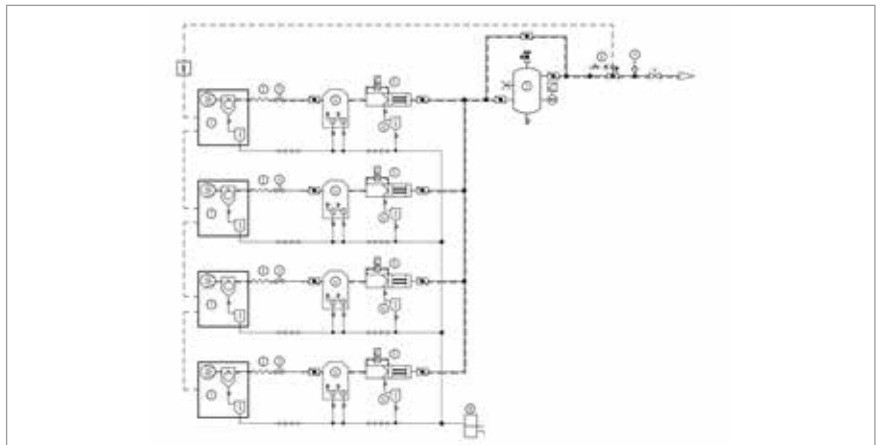
Om de rendabiliteit van de persluchtvoorziening op lange termijn te kunnen garanderen, is niet alleen een optimale kosten-batenverhouding maar ook een effectief controlesysteem voor de vereiste transparantie nodig. De basis hiervoor vormt de compressorregeling SIGMA CONTROL, een industriële pc met vijf voorgeprogrammeerde besturingsvarianten en de mogelijkheid om gegevens te verzamelen en door te sturen naar een gegevensnet. Op het niveau van de overkoepelende besturing staat een andere industriële pc, de eerder genoemde SIGMA AIR MANAGER (pagina 18). Behalve het optimaal regelen en monitoren van het station moet deze manager alle relevante gegevens verzamelen en doorsturen naar een computernetwerk (Ethernet). Dat kan via internet of met de besturingssoftware SIGMA CONTROL CENTER. De SIGMA AIR MANAGER biedt met het visualiseringssysteem SIGMA AIR CONTROL een via de pc oproepbaar overzicht van alle compressoren van het station en hun belangrijkste bedrijfsgegevens. Zo is snel duidelijk of het station onberispelijk functioneert, of er onderhouds- of storingsmeldingen zijn en hoe hoog de werkdruk is.



Afb. 2a: Met CAD geoptimaliseerde 3D-planning van een persluchtstation



Afb. 2b: Plattegrond van een persluchtstation



Afb. 2c: P+I-schema van een persluchtstation

Hoofdstuk 13

Het persluchtstation efficiënt koelen

Compressoren zetten 100% van de ingevoerde elektrische energie om in warmte. Al een relatief kleine compressor van 18,5 kW levert als nevenproduct zoveel warmte om een eengezinswoning te verwarmen. Een efficiënte koeling is daarom essentieel voor een storingsvrije werking van een persluchtstation.

De door compressoren gegenereerde afvalwarmte is uitstekend geschikt om energie te besparen. Met warmteterugwinningssystemen kan tot 96% van de gebruikte energie teruggewonnen en opnieuw worden gebruikt en dalen de kosten van de persluchtgeneratie aanzienlijk (lees hoofdstuk 8 vanaf pagina 20). Maar ook persluchtinstallaties met warmteterugwinning moeten over een volwaardig koelsysteem beschikken waarmee ook veel geld kan worden bespaard. Zo kunnen de kosten voor luchtkoeling wel 30% lager zijn dan bij waterkoeling. Daarom heeft luchtkoeling waar mogelijk de voorkeur.

1. Omgeving van de compressoren

1.1 Zuiverheid en koelte zijn essentieel

In het Duitse ongevalpreventievoorschrift VBG 16 „13.4 Compressoren“, § 12, alinea 1) staat: „Compressoren moeten zodanig worden opgesteld dat ze goed toegankelijk zijn en de benodigde koeling is gegarandeerd.“ De uitvoeringsbepalingen geven aan dat de omgevingstemperaturen bij lucht- en oliegekoelde installaties niet hoger mag zijn dan +40 °C.

Bovendien staat in § 15 de volgende aanwijzing: „... in het aanzuigbereik van compressoren mogen geen gevaarlijke stoffen vrijkomen.“ Dit zijn minimale eisen om het risico van ongevallen zo klein mogelijk te houden. Bij een efficiënt, onderhoudsarm gebruik van compressoren komt echter meer kijken.



Voorbeeld van een persluchtstation met afvoerluchtsysteem en thermostatisch geregelde aanvullende ventilatie voor koeldrogers

1.2 De compressorruimte is geen bergruimte

Een compressorruimte is geen bergruimte. Houd de ruimte vrij van apparaten die er niet thuishoren, stof en andere verontreinigingen. De vloer moet indien mogelijk slijtvast zijn. In geen geval mag koellucht – of te comprimeren lucht – zonder grondige filtering worden aangezogen uit een met stof- of roetdeeltjes of een vergelijkbare verontreinigde omgeving. Zelfs onder normale bedrijfsomstandigheden moeten de aanzuig- en de koellucht met filters worden gereinigd.

1.3 Juiste temperatuur

Ook de temperatuur heeft een grote invloed op de betrouwbaarheid en de onderhoudsbehoefte van compressoren: De aanzuig- en koellucht mogen niet te koud (<+3 °C) of te warm (>+40 °C)* zijn. Doordat in de zomer het directe zonlicht op de zuidkant, en deels ook op de westkant van bedrijfsgebouwen valt, wordt de lucht een tijd lang sterk opgewarmd tot temperaturen boven 40°C, zelf in

gebieden met een gematigd klimaat. Het is daarom raadzaam om de openingen voor de aanzuig- en koellucht niet daar te maken waar ze aan intense zonnestraling blootstaan. De grootte van de openingen is afhankelijk van de capaciteit van de compressoren en de manier van ventileren.

2. Ventilatie van de compressorruimte

Niet alleen bij lucht- maar ook bij watergekoelde compressoren is een passende ventilatie van de compressorruimte noodzakelijk. In elk geval moet zowel de stralingswarmte in de compressorinstallatie alsook de afvalwarmte van de elektrische aandrijfmotor worden afgevoerd – samen ongeveer 10% van het aandrijfvermogen van de compressor.

3. Verschillende ventilatiemethoden 3.1 Natuurlijke ventilatie

De koellucht wordt door de compressor aangezogen en verwarmd, stijgt op en door de atmosferische druk via een beluchtingsopening bovenaan naar

buiten afgevoerd. **(afb. 1)**. Zo eenvoudig gaat het helaas zelden en alleen bij compressoren met een vermogen van maximaal 5,5 kW. Want alleen al zonnestraling of wind die op de afvoeropening staat kan deze natuurlijke ventilatie verstoren.

3.2 Kunstmatige ventilatie

Deze methode werkt met een geleide koelluchtstroom. Een thermostatische regeling voorkomt dat de temperaturen in de winter daalt tot onder +3 °C. Te lage temperaturen zouden de werking van de compressoren evenals de afvoer van condens en de condensbehandeling kunnen belemmeren. De besturing met thermostaten is nodig omdat in de compressorruimte bij kunstmatige ventilatie een zekere onderdruk heerst, die voorkomt dat verwarmde lucht terugstroomt in de ruimte. Er zijn twee mogelijkheden:

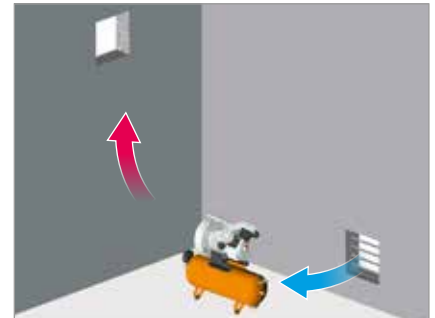
3.2.1 Ventilatie met een externe ventilator

Een in de afvoeropening van de compressorruimte geïnstalleerde externe ventilator met thermostaatregeling **(afb. 2)** zuigt de verwarmde lucht af. Daarbij is het van belang de aanzuigopening (rechtsonder) niet te klein te maken. Anders ontstaat er een te hoge onderdruk met een luchtstroom die geluidsoverlast oplevert. Bovendien zou de koeling voor het station in gevaar komen. Het ventilatiesysteem dient zodanig zijn ontworpen dat de temperatuurverhoging door de afvalwarmte van de compressor niet hoger kan zijn dan 7 K. Anders kan er een warmtekortsluiting ontstaan met uitvallen van de compressoren tot gevolg.

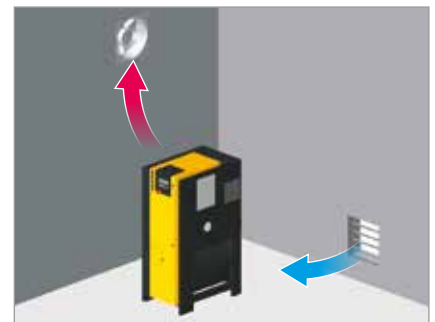
3.2.2 Ventilatie met een afvoerluchtkanaal

Volledig omkaste schroefcompressoren maken een nagenoeg ideale ventilatie mogelijk omdat een afvoerluchtkanaal wordt gebruikt: De compressor zuigt

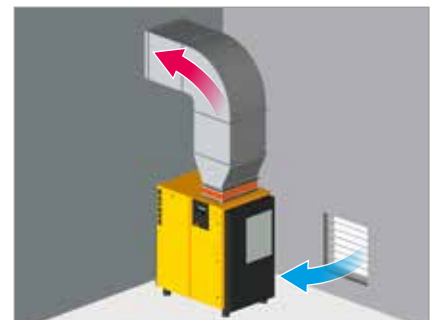
lucht aan via een opening en voert de verwarmde afvoerlucht direct af via het kanaal, dat deze lucht rechtstreeks uit de compressorruimte leidt **(afb. 3)**. Het voordeel hiervan is dat de koelluchtstroom sterker kan worden verwarmd, en wel tot ca. 20K. Daardoor daalt het benodigde koelluchtvolume. Gewoonlijk zijn de standaardventilatoren in de compressoren voldoende om de verwarmde lucht af te voeren. In tegenstelling tot het ventileren met een externe ventilator wordt geen extra energie verbruikt. Dit geldt echter alleen dan als de restcapaciteit van de ventilatoren niet wordt overschreden. Verder moet het afvoerluchtkanaal zijn voorzien van een thermostaatgergelde registerklep **(afb. 4)** beschikken, zodat de compressorruimte in de winter niet overmatig afkoelt. Als er in de compressorruimte ook luchtgekoelde drogers zijn opgesteld, dan moet ook daar rekening mee worden gehouden: compressor en droger mogen elkaar ventilatietechnisch niet beïnvloeden. Bij temperaturen boven + 25 °C is het bovendien raadzaam om de koelluchtstroming te verhogen door een thermostatisch geregeld afvoersysteem voor de de koeldroger.



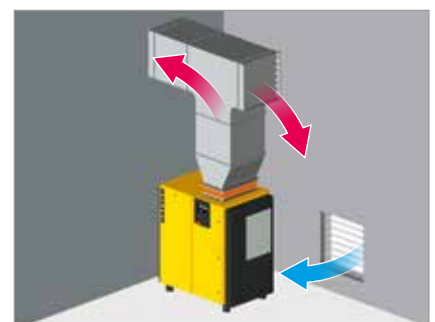
Afb. 1: Natuurlijke ventilatie voor installaties tot 5,5 kW



Afb. 2: Geforceerde ventilatie met ventilator voor installaties van 5,5 tot 11 kW



Afb. 3: Geforceerde ventilatie met afvoerluchtkanaal – voor installaties vanaf 11 kW

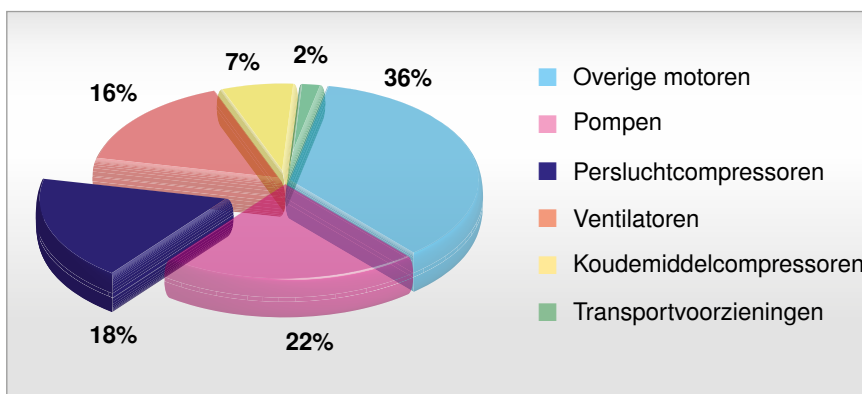


Afb. 4: Een thermostaatgestuurde registerklep zorgt voor temperatuurcompensatie

Hoofdstuk 14

Betrouwbaarheid en geoptimaliseerde kosten langdurig handhaven

Op de pagina's 22 tot en met 33 kunt u lezen waar u bij het installeren van nieuwe en het renoveren van bestaande persluchtnetwerken op moet letten en hoe de planning van een efficiënt compressorstation eruit behoort te zien. Een energie- en kostenbewuste planning en uitvoering zijn slechts het halve werk. Wie naar een blijvende rendabiliteit van zijn persluchtvoorziening streeft, moet vooral zorgen voor een efficiënte werking van het persluchtstelsel.



Afb. 1: Aandeel van de persluchtcompressoren aan het energieverbruik van industrieel gebruikte elektrische aandrijvingen in de EU (bron: SAVE II (2000))

Voor gebruikers is het de moeite waard om een zo groot mogelijke persluchtefficiëntie na te streven: de bedrijfszekerheid is hoger, de persluchtkosten en het energieverbruik zijn aanzienlijk lager. Het efficiëntiepotentieel is groot: Volgens het Europese onderzoek "SAVE II" verbruikten persluchtcompressoren in Europa in het jaar 2000 80 miljard kWh; minstens 30% daarvan kon worden bespaard (afb. 1).

1. Wat betekent optimale rendabiliteit?

De kostenstructuur van een persluchtstelsel is een weerspiegeling van de rendabiliteit ervan. Het bereikbare optimum zal verschillen, al naar

gelang het bedrijf en de productie. Doorslaggevend zijn de looptijden van de compressoren, het drukniveau en diverse commerciële parameters.

Hier als voorbeeld een geoptimaliseerd systeem met luchtgekoeld persluchtstation: looptijd 5 jaar, stroomprijs 8cent/kWh, rentevoet 6%, 7 bar werkdruk, perslucht kwaliteit conform ISO 8573-1: restolie klasse 1, reststof klasse 1, restwater klasse 4. Uit het voorbeeld blijkt dat ook onder optimale omstandigheden het energieverbruik met ca. 70% het leeuwendeel van de totale persluchtkosten vormt

(afb. 2). In een onderzoek van de Duitse Fachhochschule Coburg uit 2003 kwamen de opvallende feiten over in Duitsland geïnstalleerde persluchtstations naar voren (afb. 3, pagina 35).

2. Rendabiliteit handhaven

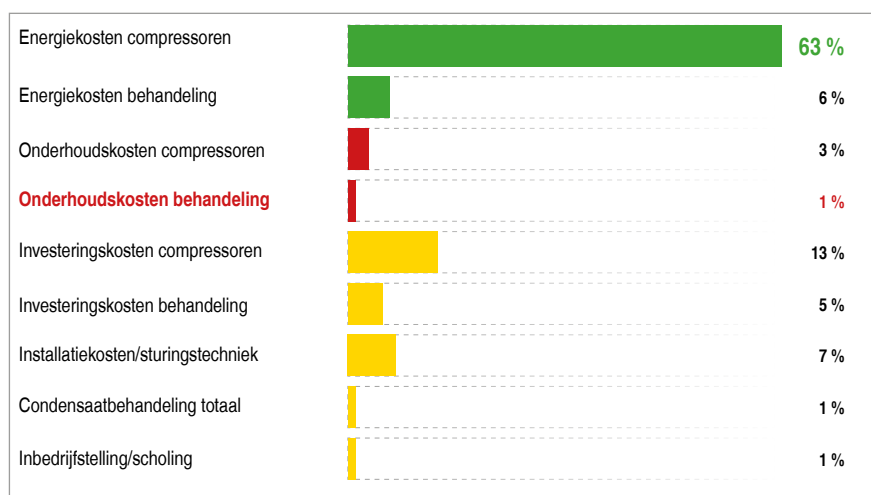
Wie geïnteresseerd is in een duurzame en rendabele persluchtvoorziening, moet een paar belangrijke punten in acht nemen:

2.1 Bedrijfsgericht onderhoud

Interne compressorbesturingen zoals "SIGMA CONTROL" en persluchtmanagementsystemen zoals "SIGMA AIR MANAGER 4.0" op basis van een industriële pc verschaffen nauwkeurige informatie over de onderhoudsintervallen voor de componenten van een persluchtstation. Zo kunnen onderhoudswerkzaamheden bedrijfsgericht en preventief worden uitgevoerd. Het resultaat: lagere onderhoudskosten, hogere rendabiliteit en betrouwbaarheid van de persluchtverzorging en dus ook van de productie.

2.2 Gebruik van de juiste verbruikers

Niet alleen aan de productiekant, maar ook aan de verbruikskant kan op de verkeerde manier worden bespaard: namelijk door pro-



Afb. 2: Kostenstructuur van een geoptimaliseerd persluchtstelsel

ductiemachines te kopen die weliswaar gunstig in aanschaffing zijn, maar die een hogere werkdruk vragen. De kosten van de daarvoor noodzakelijke drukverhoging en/of uitbreiding van het persluchtstelsel zullen snel hoger zijn dan de extra kosten voor een machine die met een lagere bedrijfsdruk van bijv. 6 bar genoeg neemt. Daarom zouden er voor de aankoop van productiemachines richtlijnen worden opgesteld, die niet alleen rekening houden met de stroomvoorziening maar ook met de persluchtvoorziening.

2.3 Om productieredenen gewijzigde eisen

2.3.1 Persluchtverbruik

a) Aanpassing van de productie

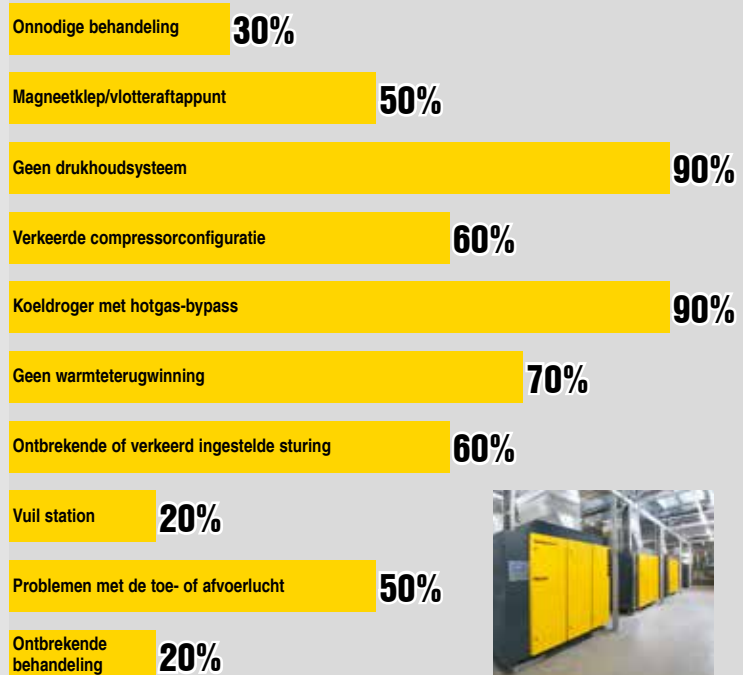
Verbruiksschommelingen zijn in veel bedrijven eerder regel dan uitzondering. Hier wordt vaak echter te weinig aandacht aan besteed. Zo kan het gebeuren dat na een aanpassing van de productie compressoren in een ploeg plotseling extreem onderbelast werken, terwijl het luchtverbruik op een ander moment zo hoog is dat de veiligheidsreserve moeten worden aangesproken. De persluchtvoorziening moet derhalve altijd worden aangepast aan gewijzigde productiestructuren.

b) Uitbreiding van de productie

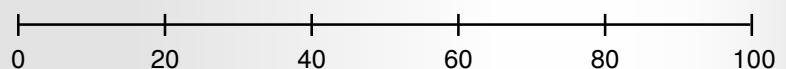
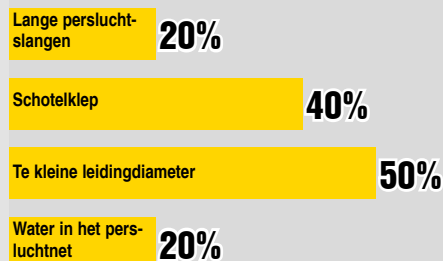
In dit geval moet niet alleen de capaciteit van de compressoren maar ook de leidingen en de persluchtbehandeling op de gewijzigde omstandigheden worden afgestemd. Als de productiecapaciteit moet worden vergroot door een bestaande installatie uit te breiden, dan is het raadzaam om het persluchtverbruik te meten om gedetailleerde informatie te verkrijgen en de voorziening dienovereenkomstig aan te kunnen passen.

Opvallende feiten in persluchtstations en productieruimtes

Persluchtstation



Productie



Onderzochte bedrijven (in %)

Afb. 3: Zie de resultaatanalyse van luchtaudits door KAESER voor de campagne Persluchtefficiëntie. Doctoraalscriptie van Anja Seitz, Fachhochschule Coburg, vakgebied Machinebouw (2003)

Hoofdstuk 14

Betrouwbaarheid en geoptimaliseerde kosten langdurig handhaven

2.3.2 Bedrijfszekerheid

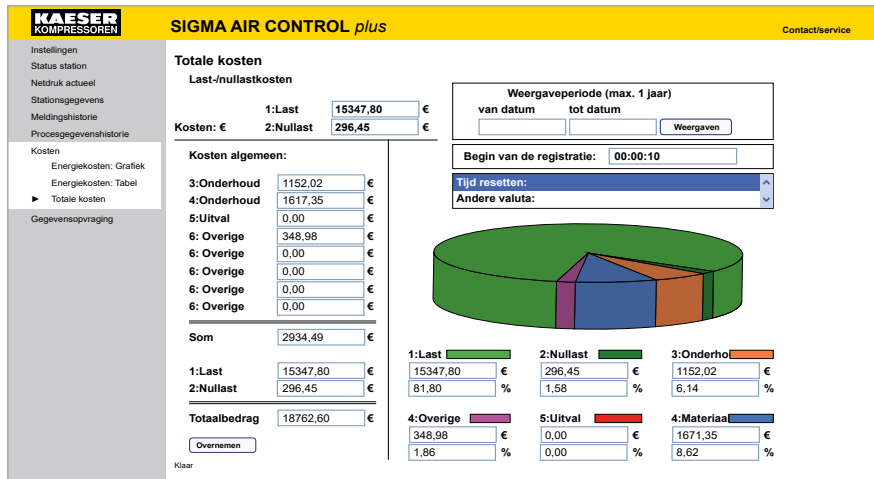
Bij persluchtstations is het gebruikelijk om een stand-bycompressor te plaatsen. Bij de persluchtbehandeling daarentegen ziet men vaak af van dergelijke veiligheidsreserves. Stijgt het luchtverbruik, dan schakelt weliswaar de stand-bycompressor in, maar door onvoldoende behandelingscapaciteit neemt de kwaliteit van de perslucht af. Daarom zou voor elke stand-by-compressor een behandelingseenheid (droger/filter) worden ingepland.



Afb. 4: Ultrasoon lokaliseren van lekken

2.3.3 Wijziging van de perslucht kwaliteit

Als een hogere persluchtkwaliteit vereist is, dan moet eerst worden gekeken of dit voor de gehele productie of slechts voor een gedeelte het geval is. In het eerste geval is het niet voldoende om de centrale persluchtbehandeling onder handen te nemen. Ook leidingen die tot nu toe lucht van mindere kwaliteit hebben getransporteerd, moeten worden gereinigd of vervangen. In het tweede geval echter is het raadzaam een aanvullende luchtbehandelingseenheid te installeren die de vereiste persluchtkwaliteit levert. Om dit te garanderen moet een doorstroombe-grenzing worden geïnstalleerd.



Afb. 5a: Managementsysteem: Perslucht-kostenanalyse (webgebaseerd)

Anders zou de persluchtbehandeling door een te groot persluchtvolume overstroomd raken, want de eenheid is van-zelfsprekend niet op de maximaal mogelijke compressorcapaciteit afgestemd.

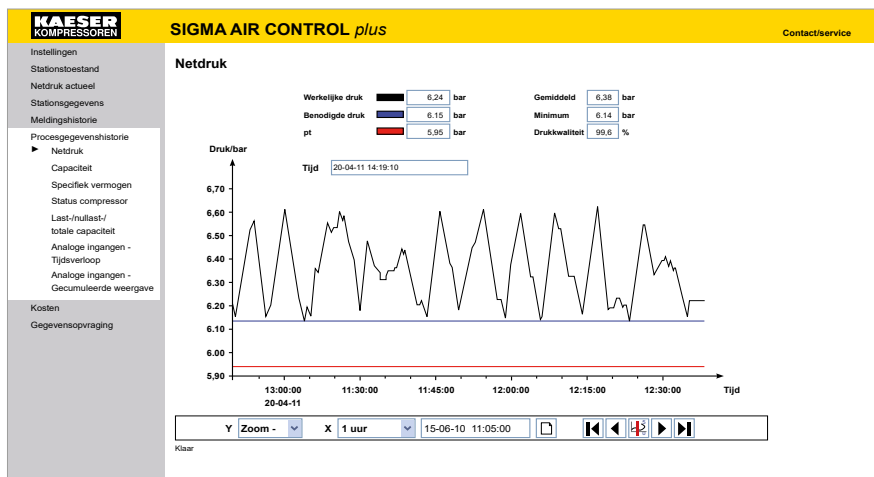
2.4 Controleren op lekken

In elk perslucht netwerk, hoe het ook is onderhouden, ontstaan lekken. Deze kunnen tot aanzienlijke energieverliezen leiden. Hoofdoorzaak is slijtage van gereedschappen, slangverbindingen en machinecomponenten (afb. 4). Daarom is het belangrijk om op der-

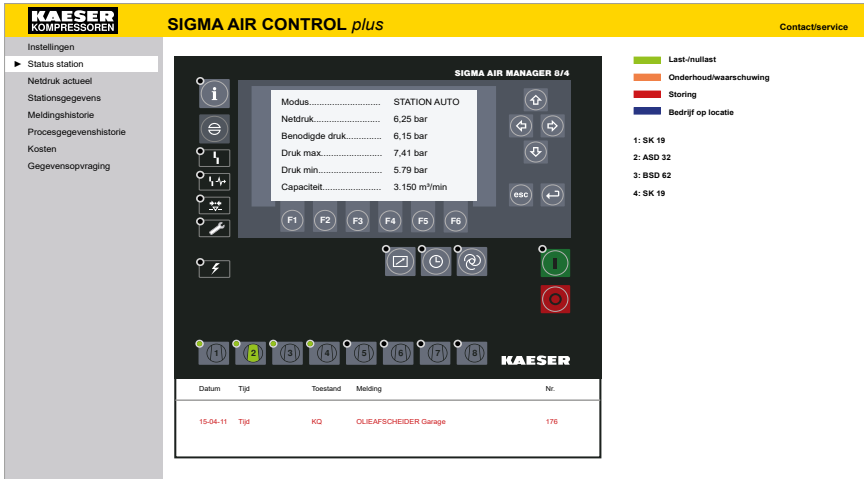
gelijke gebreken te letten en ze te verhelpen. Verder is het ook raadzaam om de installatie bijv. met de SIGMA AIR MANAGER periodiek op lekken te controleren. Zodra een verhoging van het verbruik wordt geconstateerd, moeten de lekken worden opgespoord en gerepareerd.

3. Kostenmanagement staat garant voor rendabiliteit

De gegevens die bij de planning door analyse zijn vergaard, zijn – nadat ze zijn geactualiseerd – ook later van nut. Er zijn dan geen aanvullende analyses

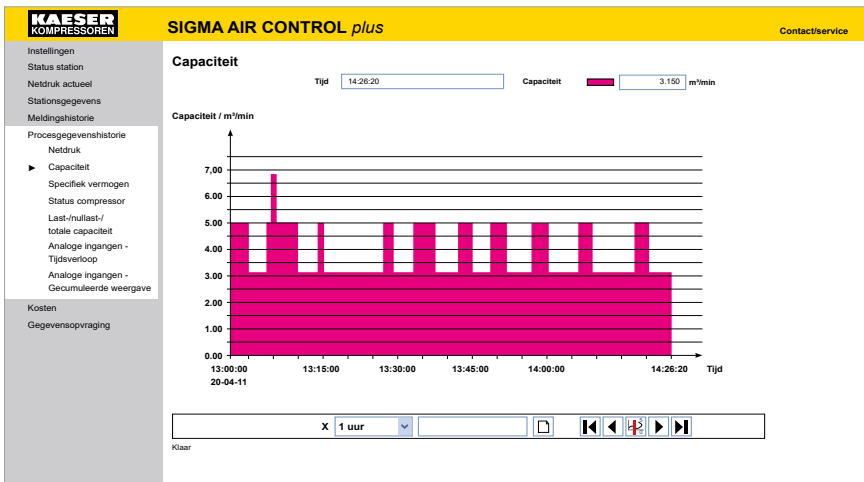


Ab. 5b: Drukverloop

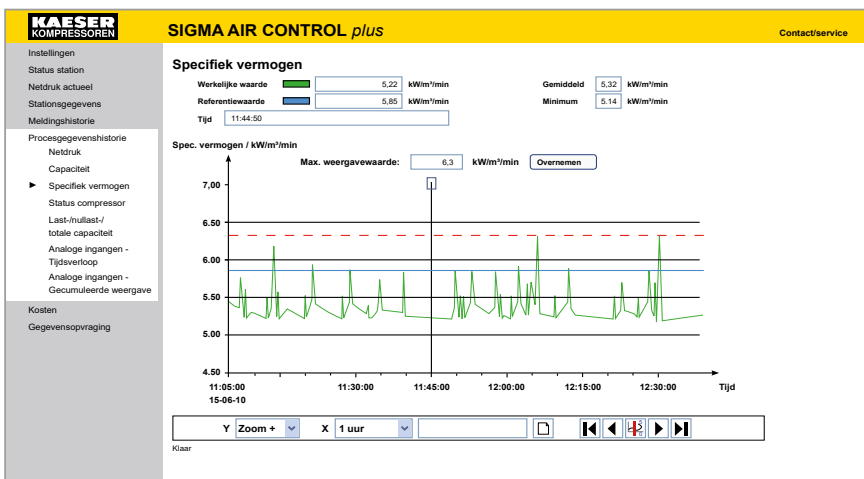


Afb. 5c: Overzicht: Besturing en managementsysteem

nodig om ze te vergaren. Systemen zoals “SIGMA AIR MANAGER” nemen deze taak op zich. Dat is een ideaal uitgangspunt voor persluchtaudits en een effectief kostenmanagement van het persluchtsysteem (afb. 5a t/m e). Hoe meer gebruikers hun persluchtkosten transparant maken, het energiebesparingspotentieel benutten en bij de aanschaf van persluchtcomponenten energie-efficiëntie op de eerste plaats stellen, des te eerder zullen alle betrokkenen het einddoel, te weten het energieverbruik van de persluchtgeneratie overall met 30% of meer te verlagen, halen - ten gunste van de bedrijfsbalans en het milieu.



Afb. 5d: Persluchtverbruik



Afb. 5e: Specifiek vermogensbehoefte

Praktische tips

Tips 1 - 7

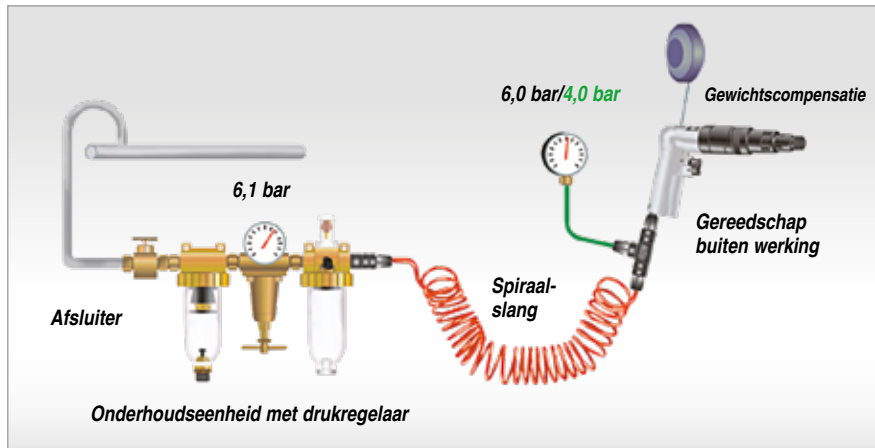
40-51

Tip 1

Besparen met een optimale druk

De rendabiliteit van een persluchtstelsel is niet in de laatste plaats afhankelijk van de juiste werkdruk. Kleine maatregelen hebben hier vaak al eens grote gevolgen.

Vaak zijn persluchtgereedschappen als volgt aangesloten op het systeem: Als het werk stil ligt, bedraagt de druk bij de onderhoudseenheid 6,1 en en bij het gereedschap 6,0. Deze druk is echter niet identiek aan de druk bij luchtverbruik.



Gereedschapsaansluiting met spiraalslang – druk 6,0 bar bij persluchtverbruik nul. 4,0 bar bij gereedschapsbedrijf = 2 bar drukverlies bij gereedschapsbedrijf: capaciteit nog maar 54%!

Drukval bij het gereedschap – wat nu?

Vaak blijkt uit een drukmeting bij een actief gereedschap een aanzienlijke drukval. In dit voorbeeld is dit 2 bar; dat wil zeggen dat het gereedschap op slechts 54% van mogelijke vermogen werkt.

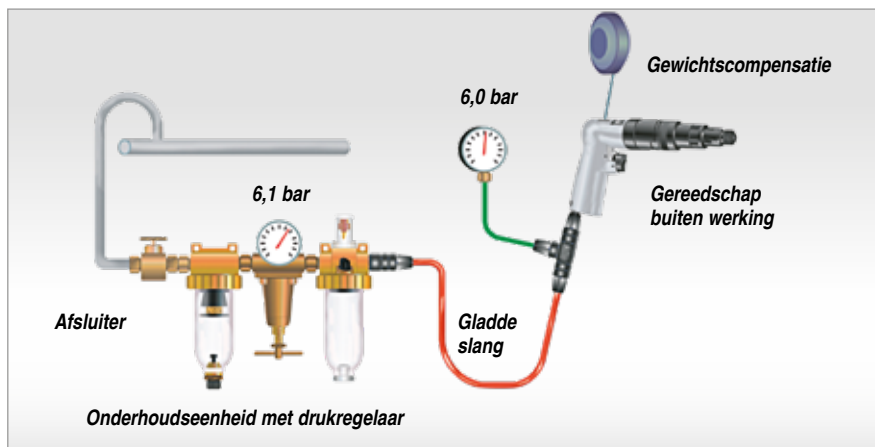
De oorzaken laten zich vaak eenvoudig verhelpen:

- a) **Diameter van de aansluiting te klein:** Gebruik een snelkoppeling met een grotere diameter.
- b) **Verkeerd ingestelde drukregelaar:** Draai deze verder open.
- c) **Te lage systeemdruk:** Verhoog de druk in het hoofdnet of installeer leidingen met een grotere diameter.
- d) **Te kleine spiraalslang:** Gebruik een grotere spiraalslang of – nog beter – een gladde slang.
- e) **Drukval in de decentrale waterafscheider:** Droog de perslucht centraal (afscheider is overbodig).

Met deze maatregelen kan de optimale druk aan het gereedschap (hier 6 bar) worden verkregen. Het gereedschap zal dan 100% van zijn vermogen leveren.

Energie besparen – met de juiste instelling

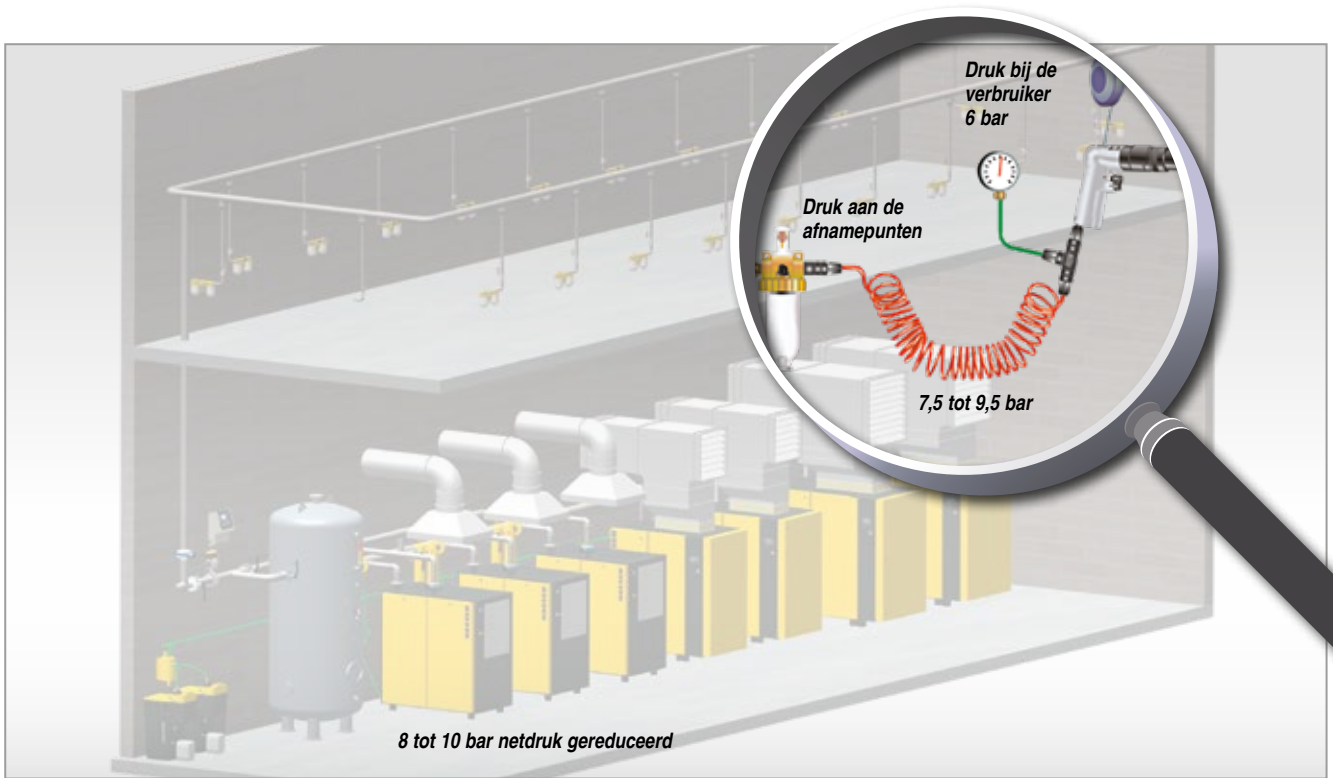
Drukregelaars beïnvloeden de efficiëntie van persluchtssystemen sterker



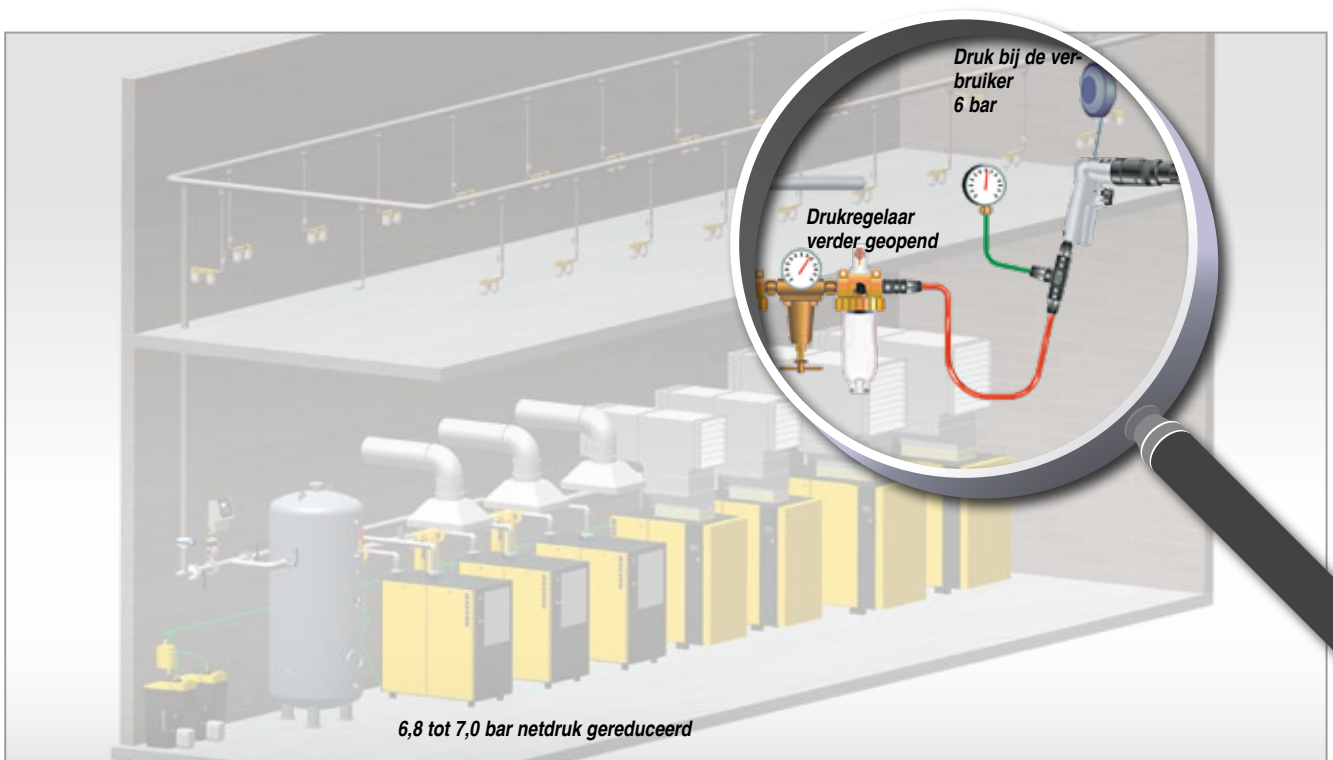
Waterafscheiders en spiraalslangen vreten energie: In plaats daarvan de perslucht centraal drogen en gladde slangen gebruiken

dan veelal wordt aangenomen. In het volgende voorbeeld werkt het persluchtstelsel met 8 t/m 10 bar. De druk bij de afnamepunten van 7,5 tot 9,5 bar wordt met drukverlagers gereduceerd tot 6 bar. Om energie te besparen wordt de systeemdruk verlaagd tot 6,8 tot 7 bar. Zo bedraagt de druk bij de afnamepunten 6,1 bar, bij de gereedschappen echter nog slechts 4 bar. De gevolgen: langere bewerkingstijd, slechte resultaten door een te lage druk aan het gereedschap en langere looptijden van de compressoren. De nagestreefde besparing is echter probleemloos mogelijk door niet alleen de systeem-

druk te verlagen, maar door gelijktijdig gladde slangen te gebruiken, overbodige waterafscheiders te verwijderen en de drukregelaars aan de verbruikers verder open te draaien.



Pure energieverstopping: te veel comprimeren en dan bij de verbruiker druk reduceren ...



... in plaats daarvan: systeemdruk verlagen en drukregelaar verder opendraaien

Tip 2

Juiste druk aan de luchtaansluiting

De druk in het compressorstation klopt eigenlijk, maar er komt desondanks weinig aan bij de luchtverbruikers. Waaraan ligt dat?

Veelal zijn slangen, snelkoppelingen of drukregelaars de boosdoeners. Vaak is de druk al bij het afnamepunt van het net te laag: Zo kan het voorkomen dat van de oorspronkelijke 6,8 tot 7 bar voor de verbruikers maar een magere 5 bar over is.

De oplossing is meestal snel gevonden: "Dan stellen we bij het station gewoon een 1 bar hogere druk in, maakt niet uit!" Maar dat is echter de crux, want elke bar hogere druk leidt niet alleen tot een 6% hoger energieverbruik van het compressorstation, maar ook de lekgraad neemt aanzienlijk toe. Daarom is het raadzaam om de oorzaken te vinden en te verhelpen.

Leidingnet als bron van de fout

Als de druk vlak achter de compressor in orde is en de nageschakelde behandelingscomponenten deze niet te sterk reduceren, kan de fout alleen in het leidingnet liggen. Dit net is in drie

secties verdeeld: hoofdleiding, verdeelleiding en aansluitleiding (**afb.1**). In een geoptimaliseerd persluchtsysteem zijn de volgende drukvallen economisch gezien acceptabel:

Hoofdleiding (1):	0,03 bar
Verdeelleiding (2):	0,03 bar
Aansluitleiding (3):	0,04 bar
Daar komen bij:	
Droger (4):	0,2 bar
Onderhoudseenh./slang (5):	0,5 bar
In totaal	0,8 bar

"Flessenhals" verhelpen

Bij nadere beschouwing blijkt vaak dat de hoofd- en verdeelleidingen weliswaar voldoende groot zijn, maar dat de diameter van de aansluitleidingen te gering is. De leidingdiameter mag niet kleiner zijn dan DN 25 (1"). Om de diameter nauwkeurig te kunnen bepalen biedt KAESER op haar website een hulpmiddel aan:

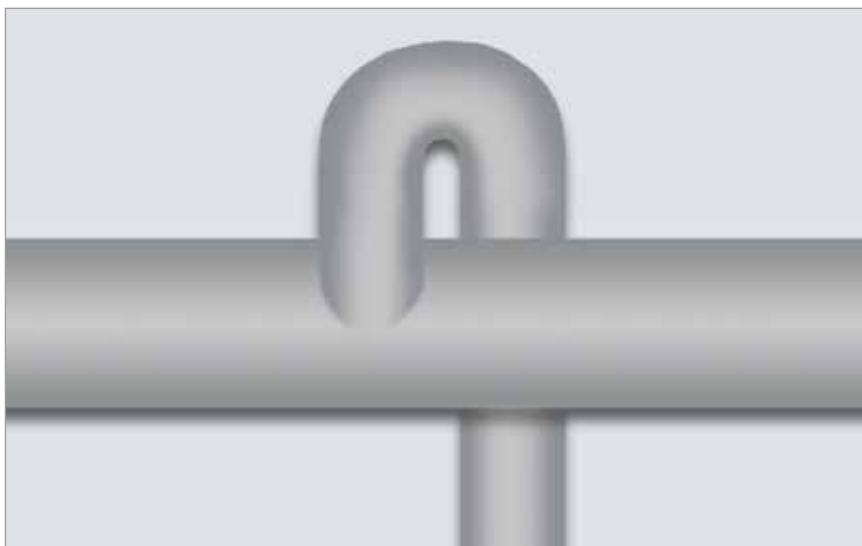
http://nl.kaeser.com/Online_Services/Toolbox/Drukval/default.asp

Bovendien kunt u ook een speciaal **nomogram** raadplegen. U vindt het in **bijlage 1 vanaf pagina 54**.

Op juiste aansluiting letten

Om storingen en schade door eventueel vocht te voorkomen moet de verbinding tussen de verdeel- en aansluitleiding als stromingsgunstige "zwanenhals" (**afb. 2**) zijn uitgevoerd: Alleen als volledig is gegarandeerd dat de leiding geen condenswater bevat, kan ook een directe afvoer naar beneden worden gekozen (**afb. 3**).

De geoptimaliseerde aansluiting met een drukval van maximaal 1 bar tussen de persluchtuitlaat aan de compressor en de luchtverbruiker ziet er dan uit als getoond op **pagina 40**.



Afb. 2: Zwanenhals



Afb. 1: Hoofdcomponenten van een persluchtverdeelsysteem: hoofdleiding (1), verdeelleiding (2), aansluitleiding (3), droger (4), onderhoudseenheid/slang (5)



Afb. 3: Directe leidinguitgang

Tip 3

Perslucht efficiënt verdelen

Welke van de drie methoden om perslucht te verdelen – steekleiding, ringleiding, netwerk – juist is, is afhankelijk van de bedrijfsomstandigheden. Wie perslucht rendabel wil gebruiken, moet er niet alleen voor zorgen dat de perslucht energiebesparend wordt gegenereerd maar ook dat de perslucht zo efficiënt mogelijk in het bedrijf wordt verdeeld. Hoe u dat doet, leest u hier.

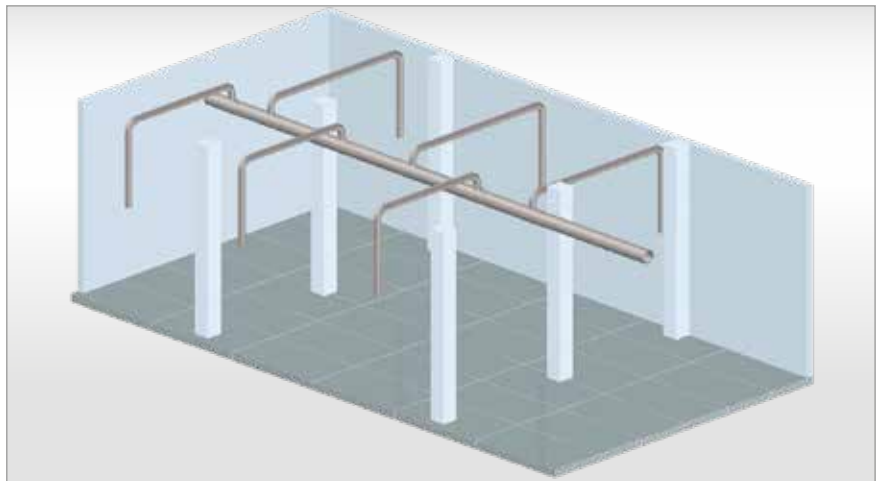
Steekleiding

Het installeren van een steekleiding met aftakkingen naar de afzonderlijke persluchtverbruikers (afb. 1) is verhoudingsgewijs eenvoudig. De te installeren leidinglengte is weliswaar betrekkelijk gering, maar moet over voldoende transportcapaciteit voor het totale luchtverbruik beschikken.

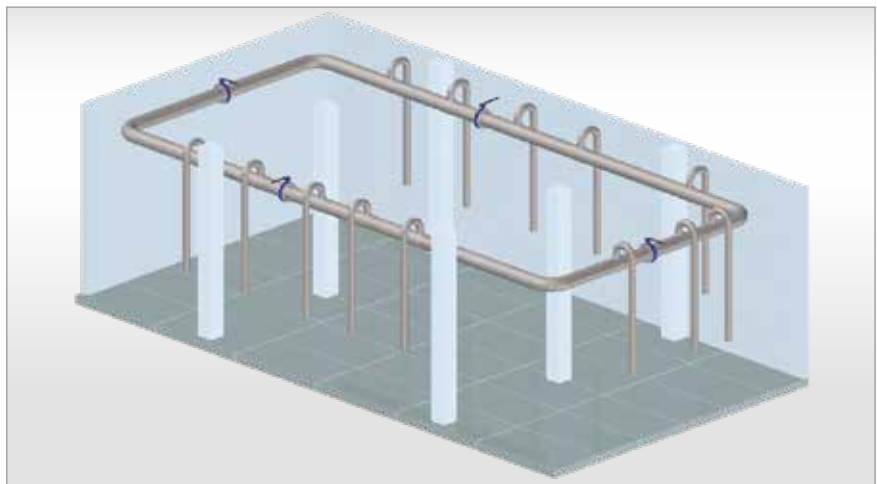
Dat betekent dat de diameter in vergelijking met een ringleiding of een netwerk aanzienlijk groter moet zijn. Ook de aansluitleidingen voor de verbruikers zijn langer gezien de grotere afstand en moeten daarom ook groter zijn. Omdat het bovendien niet mogelijk is om delen van het leidingnet voor uitbreidings- of saneringswerkzaamheden af te sluiten, zijn steekleidingsystemen meestal alleen geschikt voor kleinere bedrijven.

Ringleiding

Ringleidingen (afb. 2) hebben ondanks de hogere installatiekosten ten opzichte van steekleidingen een belangrijk voordeel: Als zonder uitzondering verbruikers met hetzelfde persluchtverbruik zijn geïnstalleerd, kunnen de leidinglengtes en volumes de helft kleiner worden. Daarom zijn kleine leidingdiameters voldoende voor dezelfde transportcapaciteit. Voor korte aansluitleidingen worden zelden leidingen groter dan DN 25 gebruikt. Door voldoende afsluiters te installeren kunnen leidingsecties bij lopend bedrijf worden stilgelegd voor sanerings- en uitbreidingswerkzaamheden.



Afb. 1: Persluchtsteekleiding



Afb. 2: Persluchtringleiding

Netwerk

Voor grote gestructureerde bedrijven is een leidingnet aanbevelenswaardig – dus een ringleiding die met langs- en dwarsverbindingen tot een netstructuur zijn samengevoegd (afb. 3). Weliswaar zijn de installatiekosten hier het hoogst, maar de voordelen wegen zwaarder: Dankzij de netstructuur kunnen grote fabriekshallen betrouwbaar en energie-efficiënt van perslucht worden voorzien, zonder dat de leidingen te groot worden. In tegendeel: Door de verbindingen kunnen hier – net als bij de ringleiding in kleine of middel-

grote bedrijven – de afmetingen relatief beperkt blijven. Ook dit systeem kan zo nodig met afsluiters gedeeltelijk worden stilgelegd.

Hoofdleiding(en) ontwerpen

De hoofdleiding van het persluchtsysteem verbindt de verdeel-leidingen van de afzonderlijke delen van het bedrijf (gebouwen) met het persluchtstation (generatie).

Doorslaggevend voor het dimensioneren van de persluchthoofdleiding is de totale transportcapaciteit van de

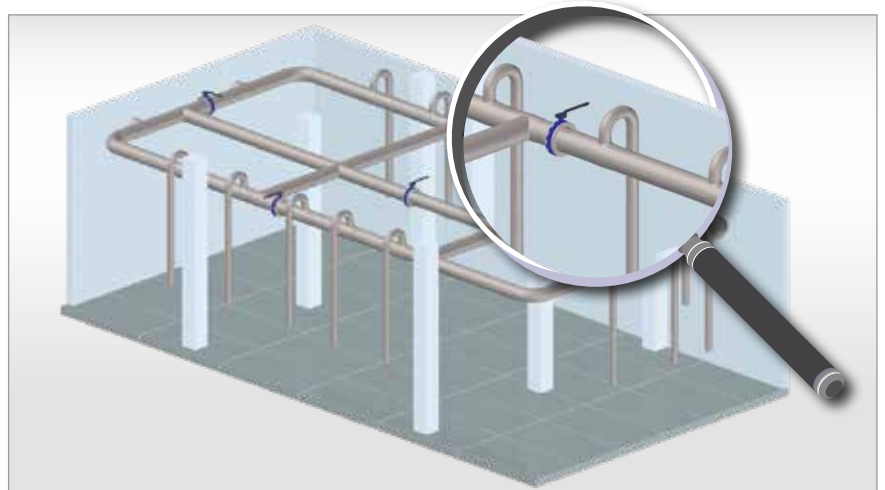
gebruikte compressoren. Deze capaciteit is bepalend voor de maten en de capaciteit van de leiding. Het drukverlies mag niet hoger zijn dan 0,03 bar.

Voorziening met één station

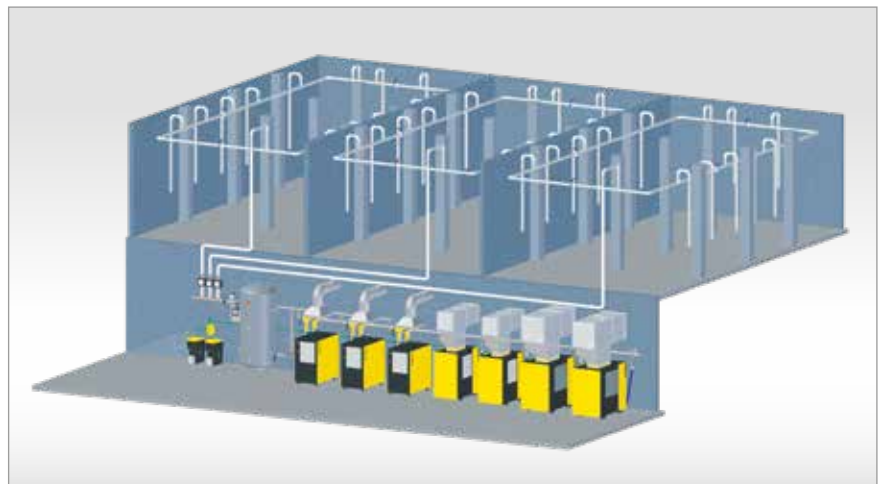
Als een persluchtstation meerdere delen van het bedrijf (productiehallen) van perslucht voorziet, moeten de hoofdleidingen voor de verschillende delen op het maximale persluchtverbruik van dat deel zijn afgestemd (drukverlies < 0,03 bar). In een leidingverzamelaar samenkomende leidingen in het persluchtstation hebben als voordeel dat de persluchtvoorziening van hele delen van het bedrijf eenvoudig kunnen worden afgesloten. Met geïntegreerde flowmeters kan bovendien het luchtverbruik van de afzonderlijke delen worden gemeten (afb. 4).

Verzorging met meerdere stations

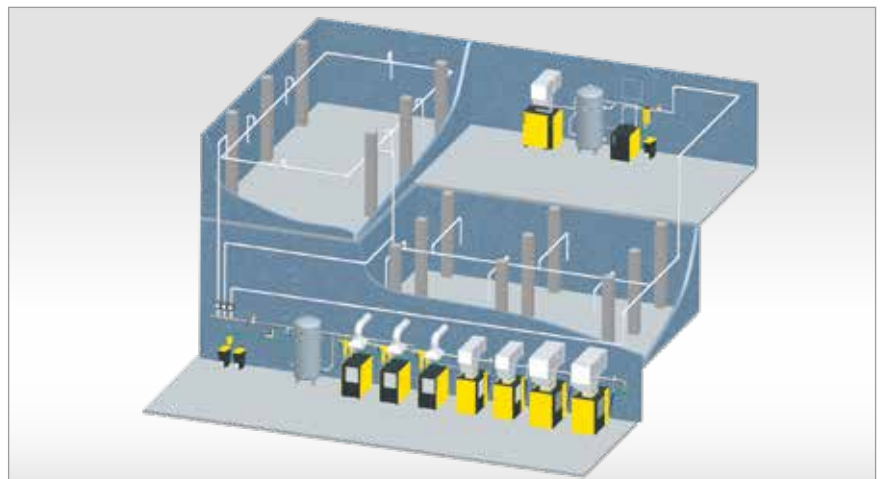
Als twee of meer persluchtstations een groot hoofdleidingsysteem voeden, moeten de leidingen van dit systeem zodanig worden gedimensioneerd dat het maximale capaciteit van het grootste station alle delen van het bedrijf kan bereiken. Het drukverlies tussen de verschillende stations mag niet hoger zijn dan 0,03 bar. Anders zijn complexe regelsystemen nodig (afb. 5).



Afb. 3: Persluchtleidingnet met verbindingselementen



Afb. 4: Persluchtvoorziening met een centraal persluchtstation voor meerdere productiebereiken



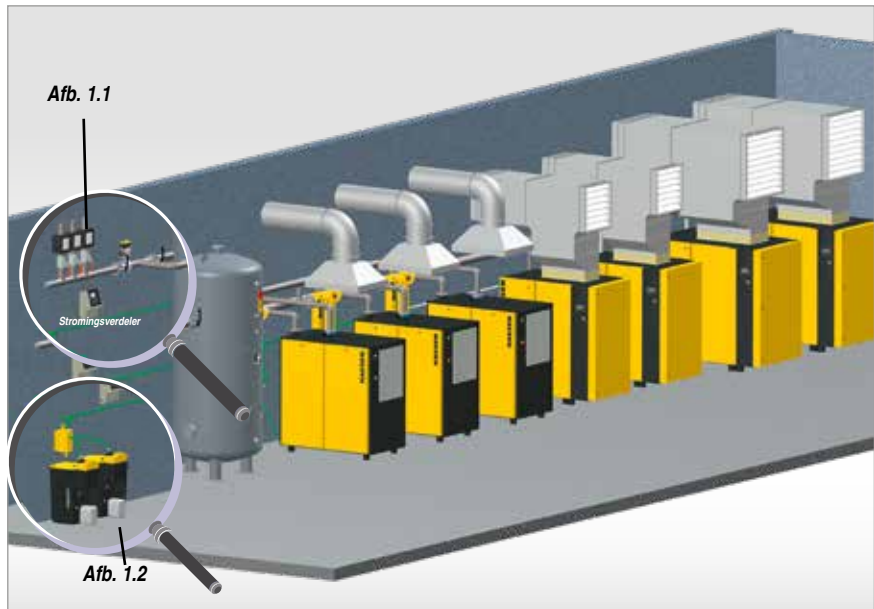
Afb. 5: Persluchtvoorziening met twee stations en centrale regeling voor meerdere productiebereiken

Tip 4

Leidingen in het persluchtstation

Behalve het verdelen van de perslucht in het bedrijf hebben de leidingen tot taak de compressoren en andere componenten van het persluchtstation te verbinden met het totale systeem. Om ook hier een maximale bedrijfszekerheid en efficiëntie te kunnen bereiken moeten bij het installeren een paar belangrijke punten in acht worden genomen.

In het algemeen moeten de leidingen in het persluchtstation zodanig zijn ontworpen dat het drukverlies dat ze veroorzaken bij maximale capaciteit geringer is dan 0,01 bar. Bovendien is het raadzaam om vanwege de niet in te schatten warmtebelasting uitsluitend stalen leidingen te gebruiken.



Afb. 1: Persluchtstation met leidingverzamelaar

Aansluiting van de persluchtverdeel­leidingen

Om de leidingen in het station aan te sluiten op het perslucht­net is het raadzaam een verzamelaar te gebruiken, van waaruit alle verdeelleidingen aftakken (afb. 1.1). Zo kan indien nodig de persluchtvoorziening voor een bepaald deel van het bedrijf worden afgesloten.

Installatie in een vochtige zone

Bij vochtige perslucht, dat wil zeggen in leidingsecties na de compressoren en voor de drogers, moet het gebruik van een waterzak zo veel mogelijk worden vermeden. Anders moet de leiding afschot hebben in de richting van de waterzak en gericht via een condensaat­aftappunt worden ontwaterd (afb. 2).

Componenten correct aansluiten

In het persluchtstation moeten de verschillende componenten (compressoren, drogers, enz.) altijd van bovenaf met de hoofdleiding worden verbonden. Van leidingdiameter DN 100 is een aansluiting aan de zijkant ook mogelijk (afb. 3 a/b).

Compressoren aansluiten

Om het overbrengen van trillingen te voorkomen moeten de compressoren elastisch met het leidingnet worden verbonden. Voor leidingdiameters < DN 100 zijn slangverbindingen geschikt (afb. 4). (Tussen slang en de eerste leidingbocht wordt een bevestigingselement aangebracht dat de optredende krachten opneemt en zo voorkomt dat ze op de leiding worden overgebracht (afb. 4.1). Voor een leidingdiameter > DN 100 moeten in plaats van een slang axiale compensatoren (afb. 3b) worden gebruikt om de compressor trillingsdempend aan te sluiten op het leidingnet.

Condensaat betrouwbaar verwijderen

Het betrouwbaar verwijderen van het optredende condensaat is een basisvoorwaarde voor een optimale bedrijfszekerheid en beschikbaarheid van het persluchtstation. Hier is van belang dat met name bij het leggen van de condensaatleidingen fouten moeten worden voorkomen.



Afb. 2: Leiding met waterzak en condensaat­aftappunt

Ondanks moderne aftap­techniek worden de aansluit­leidingen vaak verkeerd aangesloten op het condensaat­behandelingssysteem. Wie echter de volgende tip in acht neemt, zal deze fouten niet maken en speelt zo op safe:

Condensaat­aftappunt afsluiten

Condensaat­aftappunten moeten aan beide zijden met een kogelkraan afge-

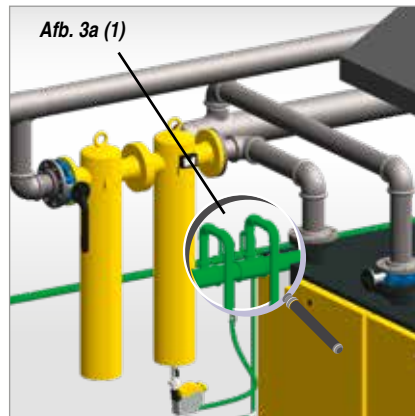
sloten kunnen worden zodat ze bij onderhoudswerkzaamheden probleemloos uit het systeem kunnen worden verwijderd (afb. 2.1).

Juiste aansluitgrootte

De aansluiting aan de verzamelleiding dient minimaal 0,5" te zijn. Alleen zo kan een onnodige stuwdruk worden vermeden.

Aansluiting van boven

De condensaatleidingen moeten van boven op de verzamelleiding worden aangesloten zodat de aftappunten elkaar niet kunnen beïnvloeden (afb. 3a (1)).



Afb. 3a: Aansluiting van koeldrogers en condensaat aftappunt (telkens van boven)

Leiding drukloos – met afschot

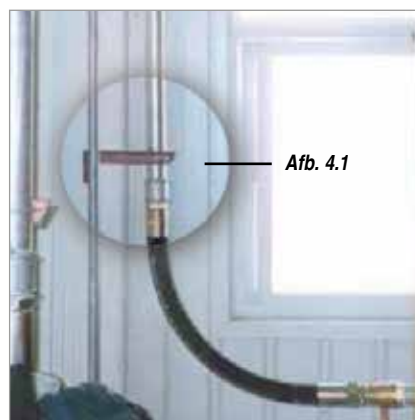
De condensaatverzamelleiding moet altijd met afschot worden gelegd. Bovendien moet deze drukloos zijn. Alleen in een dergelijke leiding mogen condensaat aftappunten van verschillende systeemcomponenten (cycloonafscheider, perslucht ketel, koeldroger, perslucht filter) met verschillende drukniveaus uitkomen. Als dat niet het geval is, moeten verschillende aansluitpunten aan het condensaatbehandelingsapparaat ("Aquamat") worden gebruikt.



Afb. 3b: Trillingselastische compressoraansluiting met axiale compensatoren

Meerdere behandelingsapparaten

Als door de optredende condensathoeveelheid meerdere behandelingsapparaten noodzakelijk zijn, moet de hoofdcondensaatleiding via een stromingsverdeler worden aangesloten (afb. 1.2).



Afb. 4: Trillingselastische compressoraansluiting met een slang

Systeemdruk boven 15 bar

Bij systemen met een drukniveau van boven 15 bar moet een aparte hogedrukontlastingskamer worden gebruikt voordat het condensaat in het behandelingsapparaat wordt geleid.

Tip 5

Compressoren correct opstellen

Opstel- en omgevingsomstandigheden beïnvloeden het rendement en de betrouwbaarheid van de persluchtgeneratie aanzienlijk. Houd hierbij vooral drie geboden in acht.

1. Station schoon houden

De zuiverheid en de onderhoudstoestand laten te wensen over, ook als het niet overal uit ziet als in **afb. 1**. Schoonhouden betekent voornamelijk de installaties beschermen tegen stof. Anders raken de aanzuigluchtfilters van



Afb. 1: Verwaarloosd persluchtstation

de compressoren snel verstopt. Dit leidt tot meer onderhoudswerkzaamheden, een slechtere werking en een slechtere luchtkoeling. Andere gevolgen zijn mogelijk storingen van de compressor door oververhitting, een slechter werkende droger en dus een grotere condensaathoeveelheid met het risico van schade aan verbruikers en een lagere productkwaliteit. Als de stofbelasting ook niet door de keuze van een geschikte opstelplaats kan worden vermeden, is het raadzaam om de aanzuiglucht te reinigen met stoffilters (**afb. 2a, 2b**).

2. Gematigde temperaturen

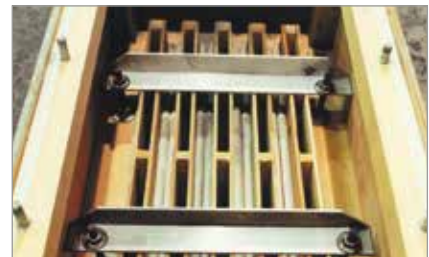
In het winterseizoen moet het persluchtstation vorstvrij worden gehouden: Allereerst wordt daar vochtige perslucht gegenereerd en behandeld voordat deze wordt getransporteerd. Door bevroren leidingen ten gevolge van condensaat veroorzaken aanzienlijke bedrijfsstoringen. Ten tweede is de smerende werking van de oliën en



Afb. 2a: Stoffen luchtfilter (aanzuigzijde)

lagervetten van de compressoren bij temperaturen onder +5 °C beperkt, en ook dat kan storingen veroorzaken. In de zomer daarentegen moet zoveel afvalwarmte van de compressor worden afgevoerd, dat de ruimtetemperatuur indien mogelijk niet hoger is dan de buitentemperatuur. Anders kunnen motoren en elektrische componenten te warm worden en de drogers door een te geringe koeling van de perslucht overbelast raken. Condensaatvorming en storingen bij de verbruikers kunnen hiervan het gevolg zijn. In het slechtste geval leidt onvoldoende be- en ontluchting tot een warmtestuwing met een volledige uitval van de compressoren en drogers en dus van de persluchtvoorziening tot gevolg.

Koelsystemen die de warmtehuishouding van het persluchtstation automatisch via thermostatisch gere-



Afb. 2b: Stoffen luchtfilter (compressorzijde)

gelde toevoer-, afvoer- en circulatielucht regelen (**afb. 3**).

3. Onderhoudsvriendelijk station

Moderne compressoren en behandelingsapparaten hebben weliswaar weinig onderhoud nodig – maar helemaal onderhoudsvrij zijn ze niet. Stel ze zodanig op dat alle onderhoudspunten goed toegankelijk zijn. Een optimale rendabiliteit en betrouwbaarheid bij de persluchtgeneratie zijn alleen mogelijk als voldoende rekening is gehouden met de drie hier beschreven criteria.



Afb. 3: Persluchtstation met thermostatisch gestuurde luchtgeleiding

Tip 6

Persluchtstations beluchten

Het correct beluchten van een persluchtstation kan in aanzienlijke bijdragen aan de beschikbaarheid van perslucht en minimalisatie van de onderhoudskosten.

1. Beluchtingsopeningen juist plaatsen

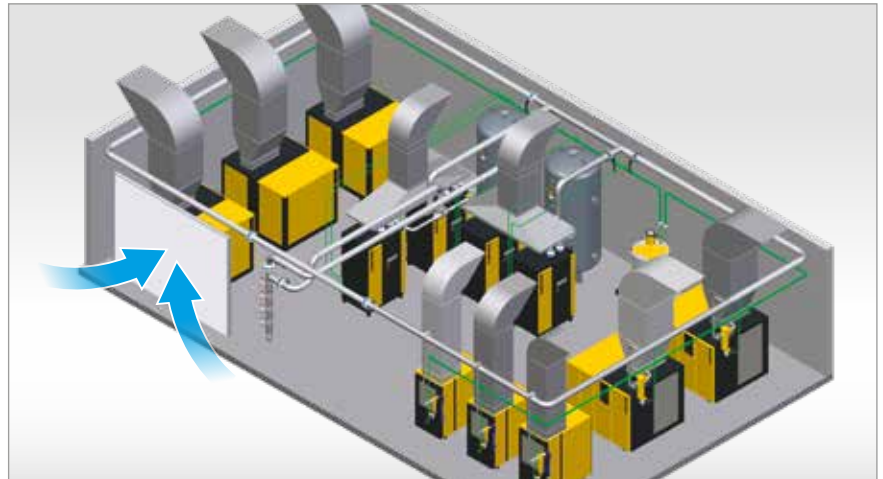
Om een persluchtstation te beluchten is de plaats van de beluchtingsopeningen zeer belangrijk. Voor de bedrijfszekerheid en betrouwbaarheid moet van buitenaf toegevoerde lucht zo weinig mogelijk door de weersomstandigheden zijn beïnvloed. Daarom is het raadzaam de beluchtingsopeningen beschermd tegen weersinvloeden te maken op de wand die niet aan zonnestraling blootstaat.

2. Vuil en schadelijke stoffen uit de buurt houden

Zorg ervoor dat er zo weinig mogelijk stof en schadelijke stoffen worden aangezogen. Daaronder vallen ook agressieve en brandbare stoffen zoals uitlaatgassen van verbrandingsmotoren. Vrachtwagenverkeer moet uit de luchtaanzuigzone van een persluchtstation worden geweerd. Als een sterke stof- en vuilbelasting in de omgeving van het station niet voorkomen kan worden, moeten geschikte beschermingsmaatregelen worden getroffen. Bij een matige belasting bieden koelluchtfilters en in extreme gevallen zogenoemde stofvallen soelaas.

3. Beluchtingsopeningen correct dimensioneren en uitvoeren

De grootte van de beluchtingsopeningen is in de eerste plaats afhankelijk van de capaciteit van de aanwezige luchtgekoelde compressoren. Per kilowatt geïnstalleerd nominaal vermogen moet als vrije diameter van de beluchtingsopeningen 0,02 tot 0,03 m² worden gerekend. Dat komt overeen met een koelluchtvolume van 130 tot 230 m³/h.



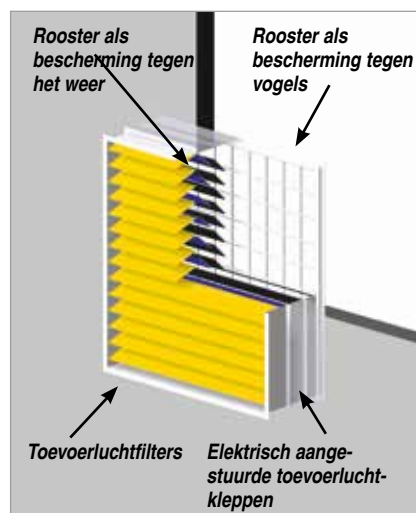
Afb. 2: Persluchtstation met toevoerluchtsystemen

Houd in het bijzonder rekening met “vrije diameter”. Weerroosters, registerkleppen en de bij ongunstige aanzuigomstandigheden vereiste filters verkleinen deze diameter aanzienlijk: afhankelijk van het ventilatiesysteem met 30 tot 60%. Het is goed om te kiezen voor stromingsgunstige ventilatiesystemen. In elke geval moeten vernauwingen van de diameter door beschermende en regelende componenten worden gecompenseerd. Gewoonlijk bestaat een beluchtingssysteem (afb. 1) uit een vogelbeschermrooster, weerrooster,

elektrisch bediende registerkleppen en eventueel een toevoerluchtfilter. Bij stations met meerdere compressoren is het raadzaam de beluchtingssystemen thermostatisch te regelen en de openingen afhankelijk van de plaats en de capaciteit van de verschillende installaties te verdelen (afb. 2).

4. Ook watergekoelde compressoren ventileren

Ook compressoren met waterkoeling worden doorgaans door luchtgekoelde motoren aangedreven en stralen warmte af. Ook deze moeten dus voldoende worden geventileerd. Ongeveer 20% van de geïnstalleerde capaciteit van een watergekoelde compressor moet als afvoerwarmte met de koellucht worden afgevoerd. Daarom zijn ook hier beluchtingsopeningen met de juiste diameter nodig.



Afb. 1: Toevoerluchtsysteem (opbouw)

Tip 7

Persluchtstations ontluchten

Wie de beschikbaarheid van perslucht wil garanderen en de onderhoudskosten laag wil houden, moet het persluchtstation correct ontluchten. Als de buitentemperatuur daalt tot onder +5 °C, moet de bedrijfsruimte van het station met circulatielucht op temperatuur worden gehouden.

1. Afvoerlucht eenvoudig geleiden

Afvoerluchtkanalen hebben een belangrijke functie in een persluchtstation: Ze voeren opgewarmde koellucht en gelijktijdig ook de warmte van de motor en de stralingswarmte van de compressoren af (afb.1). Bij moderne machines verlaat de uit verschillende bronnen afkomstige afvalwarmte de installatie via één enkele afvoerluchtopening (afb. 1, vergrootglas). Deze moet met een elastische verbinder flexibel met het afvoerluchtkanaal worden verbonden (afb. 2.). Bij buitentemperaturen van boven +10 °C wordt de gehele met de lucht afgevoerde warmte uit de bedrijfsruimte van de compressoren verwijderd. Bij de vaak nog gescheiden afvoerluchtkanalen van oudere



Afb. 2: Ventilatieaansluiting van de compressor met elastische verbinding

compressoren moeten eventueel afzonderlijke kanalen worden aangesloten.

2. Verzamelkanaal installeren

Als afzonderlijke afvoerluchtkanalen bouwtechnisch gezien niet mogelijk zijn, is een afvoerluchtverzamelkanaal (afb.

3) de oplossing. Om compressoren correct aan te sluiten zijn registerkleppen nodig. In gesloten toestand voorkomen ze bij stilstand van de betreffende compressor dat warme lucht in het station terugstroomt. Elektrisch te bedienen registerkleppen reduceren het drukverlies en kunnen met het signaal "Motor loopt" worden aangestuurd. Geleideplaten in het verzamelkanaal voorkomen drukverliezen.

3. Met circulatielucht op temperatuur brengen

Bij buitentemperaturen onder +5 °C moeten circulatieluchtkleppen aanwezig zijn die vanaf +10 °C actief worden en dus afhankelijk van de temperatuur meer of minder ver openen (afb. 1). Bij tijdelijk volledig stilgezette persluchtstations moet een extra verwarming de temperatuur in de bedrijfsruimte boven +5 °C houden.

4. Koeldroger ontluchten

Koeldrogers genereren ongeveer het viervoudige van het elektrische vermogen aan warmte. Daarom hebben ze een eigen afvoerluchtstelsel nodig met een thermostatisch geregelde ventilator (afb. 1 en 3). Als een station uit meerdere koeldrogers bestaat, moet de ventilator zijn voorzien van een getrapte regeling die vanaf +20 °C wordt geactiveerd. Omdat dit afvoerluchtstelsel niet continu werkt, mag het afvoerlucht kanaal niet direct op de droger rusten.

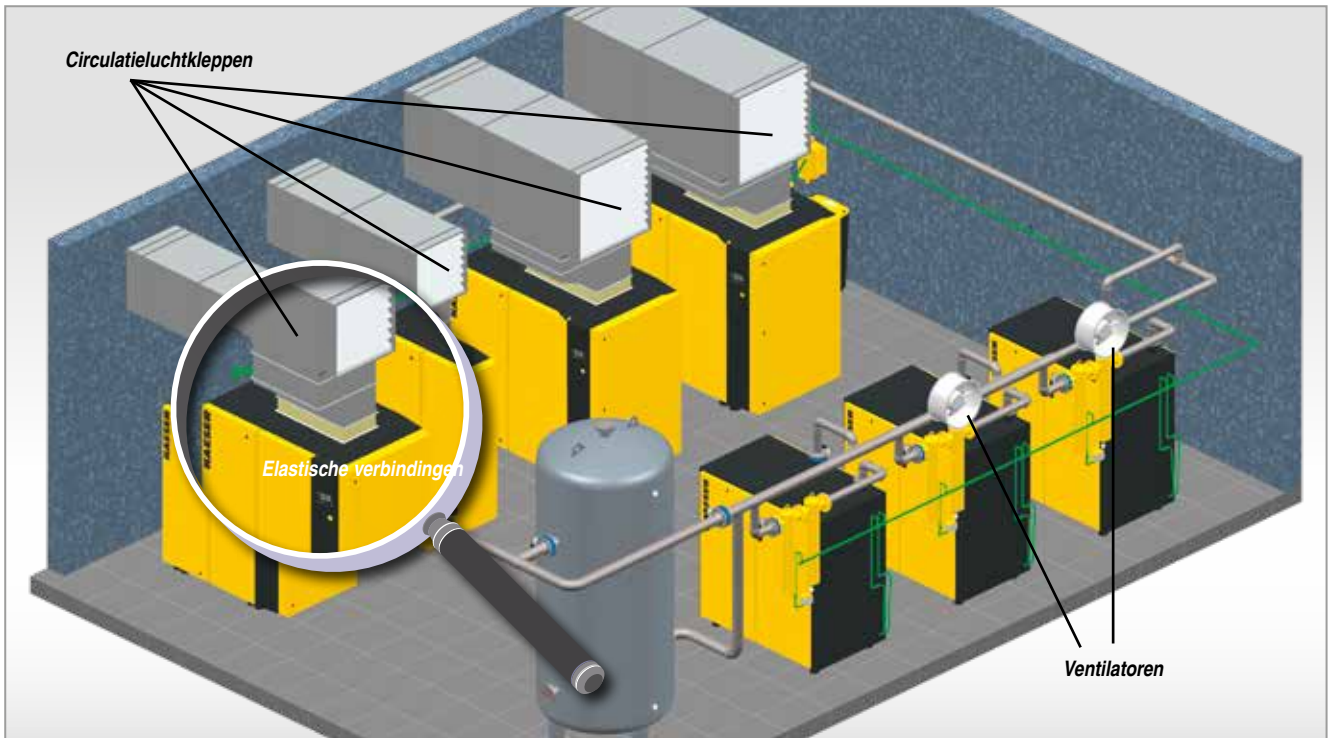
5. Afvoerluchtssystemen correct ontwerpen en aansturen

Alle afvoerluchtssystemen moeten zodanig worden ontworpen dat er niet meer drukverlies optreedt dan de kleinste machine bij de restpersing levert (neem de informatie van de fabrikant in acht). Anders zou de afvoerlucht van deze installatie terugstromen in de bedrijfsruimte. Als de restpersing onvoldoende is, zijn extra ventilatoren nodig. De kleppen moeten via ruim-

tethermostaten en de compressoren automatisch worden aangestuurd. Om storingen van de kleppen snel te kunnen herkennen en aan de besturingstechniek te kunnen doorgeven, is het raadzaam om dit met een overkoepelende besturing (bijv. SIGMA AIR MANAGER) te monitoren.

6. Uitzonderingsgeval waterkoeling

Omdat ook watergekoelde compressoren ca. 20% van het geïnstalleerde vermogen als stralingswarmte afgeven, is ook dan een geschikte ventilatie vereist.



Afb. 1: Afvoerluftsysteem met één kanaal per compressor



Afb. 3: Afvoerluftsysteem met verzamelluchtkanaal voor alle compressoren

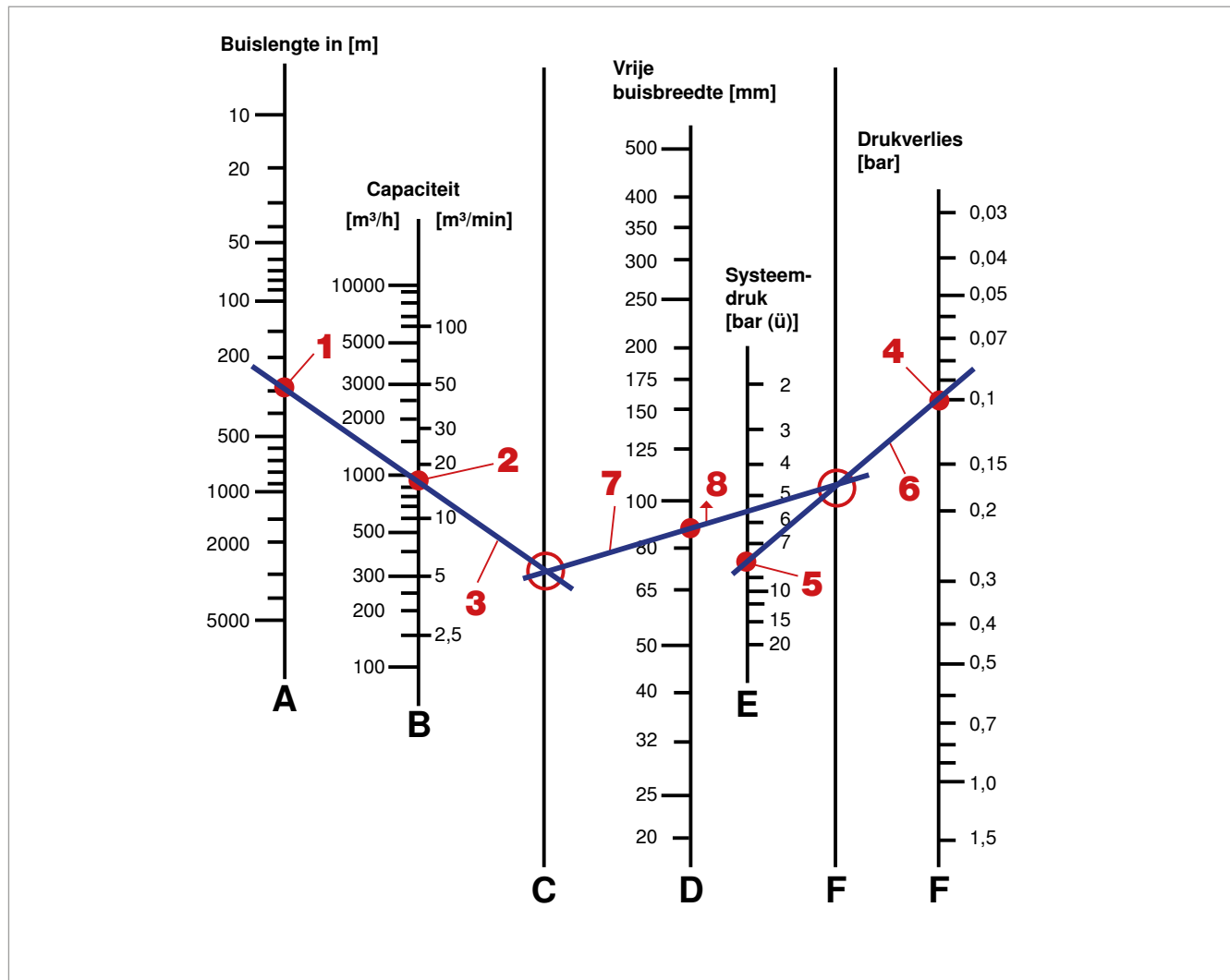
Bijlage

Bijlage 1 - 2

54-57

Bijlage 1

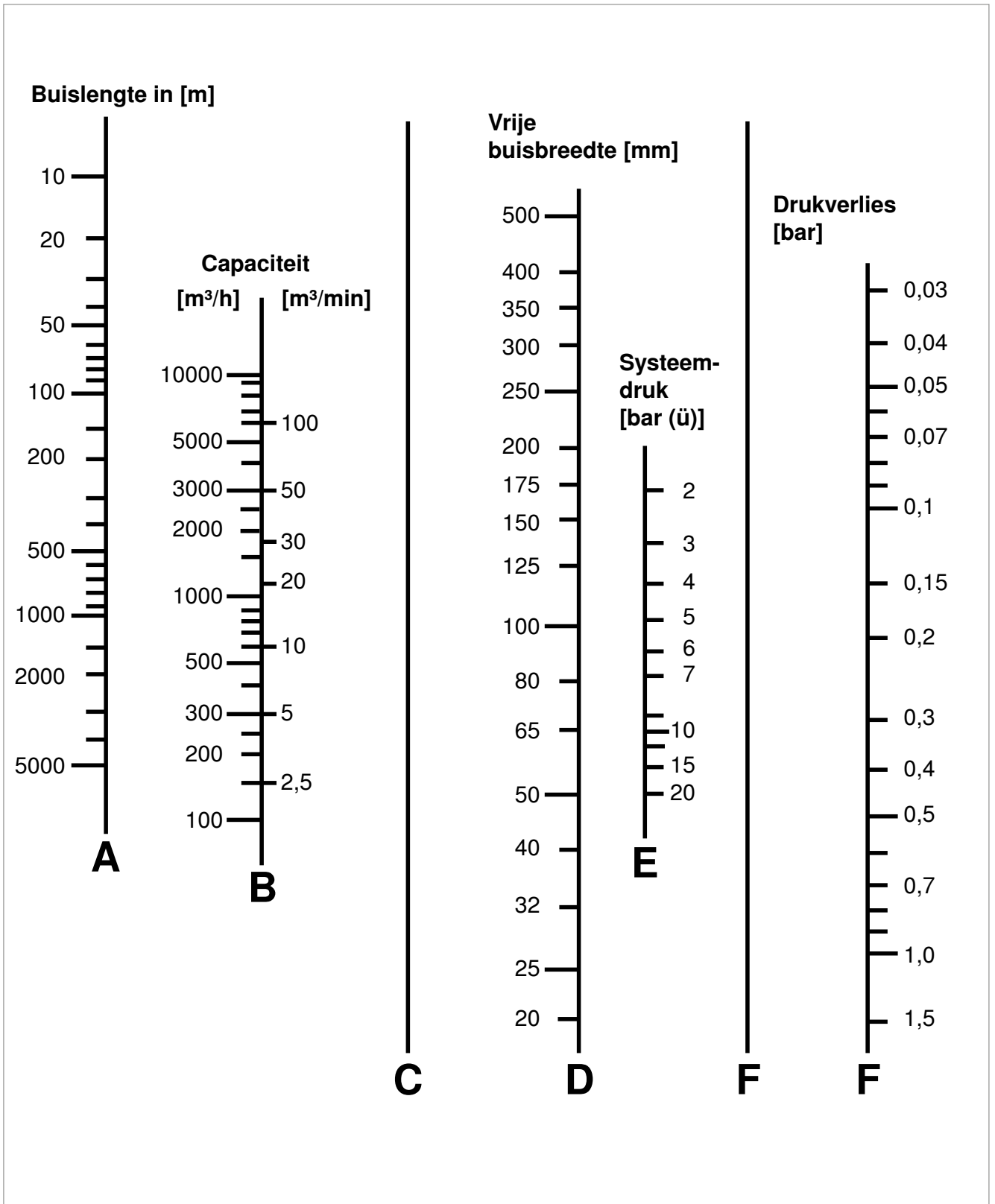
Nomogram voor het bepalen van de vereiste binnendiameter van de buis



De binnendiameter van persluchtleidingen kan met dit nomogram als volgt worden bepaald: Markeer eerst de buislengte en capaciteit op de A- en B-as. Verbind beide punten met een rechte lijn waarvan de

verlenging de C-as doorsnijdt. Markeer vervolgens op de E- en G-assen de minimale systeemdruk en het gewenste maximale drukverlies. De rechte lijn tussen deze beide punten doorsnijdt de F-as. Waar de rechte lijn door de beide

snijpunten op de C- en F-as de D-as doorsnijdt, kan de vereiste diameter worden afgelezen.



Vragenlijstvoorbeelden over de energiebesparingsysteem-service

Energiebesparingsysteem-service



1. Welke capaciteit hebben de compressoren nodig?

1.1 Luchtverbruik van de gebruikte gereedschappen en machines

Gereedschappen, machines	Luchtverbruik per gereedschap, machine m ³ /min	Aantal, gereedschappen, machines	Benutting %	Gelijktijdigheidsfactor %	werkelijk rekenkundig Luchtverbruik m ³ /min
		x		x	=
		x		x	=
		x		x	=
		x		x	=
		x		x	=
		x		x	=

Luchtverbruik van alle gereedschappen = $V_{\text{gereedschappen}}$ m³/min

1,2 Overige gebruikers V_{overige} m³/min

1,3 Lekkages perslucht net V_{lekkage} m³/min

1,4 Reserve V_{reserve} m³/min

min. benod. capaciteit van de compressoren = V_{ges} m³/min

Energiebesparingsysteem-service



2. Zijn er al compressoren aanwezig?

- Nee
- Ja

Omschrijving van de exploitant	Fabrikant	Type	Druk bar _(o)	Capaciteit m ³ /min	verder gebruik gepland?	
					Ja	Nee
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Totale capaciteit van de blijvend gebruikte bestaande compressoren

= $V_{\text{bestaande}}$ m³/min

Bestaande persluchtbehandelingscomponenten:

Type/model (droger, filter, aftap, enz.)	Fabrikant	Ontworpen voor m ³ /min	bar(o)	Opmerkingen bijv. verkeerd gedimensioneerd



CSD 105

SIGMA 

IE4





KAESER – thuis over de hele wereld

Als één van de grootste compressorproducenten is KAESER KOMPRESSOREN wereldwijd vertegenwoordigd. In meer dan 100 landen garanderen vestigingen en partnerondernemingen dat gebruikers van perslucht beschikken over de modernste, betrouwbaarste en meest rendabele installaties.

Ervaren vakkundige adviseurs en ingenieurs bieden uitgebreid advies en ontwikkelen individuele, energie-efficiënte oplossingen voor alle toepassingsgebieden van perslucht. Het wereldwijd vertakte computernetwerk van de KAESER groep stelt de volledige knowhow van het bedrijf aan alle klanten over de hele wereld ter beschikking.

Bovendien zorgt het eveneens wereldwijd vertakte servicenet voor de hoogst mogelijke beschikbaarheid van alle KAESER producten over de hele wereld.



KAESER KOMPRESSOREN BVBA

Heiveldekens 7A – B-2550 Kontich

Tel: +32 (0)3/326 39 62 – Fax: +32 (0)3/326 39 73 / Tél: +32 (0)4/222 95 41 – Fax: +32 (0)4/222 95 42
info.belgium@kaeser.com – www.kaeser.com