

Paineilmatekniikka

Perusteet ja käytännön vinkkejä



Sisältö

Perusteet

Kappale 1	Paineilmatuotannon peruskäsitteet	4
Kappale 2	Paineilman taloudellinen jälkikäsittely	6
Kappale 3	Miksi paineilma pitää kuivata?	8
Kappale 4	Lauhteen automaattinen poisjohtaminen	10
Kappale 5	Lauhteen taloudellinen ja luotettava jälkikäsittely	12
Kappale 6	Kompressorien tehokas ohjaus	14
Kappale 7	Kompressorien optimaalinen yhteensovittaminen paineilman kulutuksen mukaan	18
Kappale 8	Energiaa säästävä lämmön talteenotto	20
Kappale 9	Uuden paineilmanverkoston suunnittelu	22
Kappale 10	Paineilmaverkoston saneeraus	24
Kappale 11	Nykytilan kartoittaminen ja paineilman tarveanalyysi (ADA)	26
Kappale 12	Kuinka löydän taloudellisimman paineilmakonseptin?	30
Kappale 13	Paineilma-aseman tehokas jäähdytys	32
Kappale 14	Toimintavarmuuden ja kustannusten optimointi pitkällä tähtäimellä	34

Käytännön vinkkejä

Vinkki 1	Paineen optimointi tuo säästöä	40
Vinkki 2	Paineilmaliitännän oikea paine	42
Vinkki 3	Paineilman tehokas jakelu	44
Vinkki 4	Paineilma-aseman putkijohdot	46
Vinkki 5	Kompressorien oikea sijoitus	48
Vinkki 6	Paineilma-asemien ilmanvaihto (tuloilma)	49
Vinkki 7	Paineilma-asemien ilmanvaihto (poistoilma)	50

Liite

Liite 1	Nomogrammi – Paineilmaputkien sisäläpimitan määrittely	50
Liite 2	Energiansäästöjärjestelmä – Esimerkkejä kyselykaavakkeista	52

Johdanto



Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Thomas Kaeser



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

Hyvä lukija,

Kuuluisa kreikkalainen filosofi Sokrates – yksi länsimaisen sivistyksen isistä – totesi osuvasti jo yli kaksituhatta vuotta sitten: "On vain yksi hyvä asia, tieto, ja yksi paha asia, tietämättömyys."

Nämä viisaat sanat ovat tänä päivänä, jolloin mikään ei näytä olevan pysyvämpää kuin muutos, merkityksellisemmät kuin koskaan. Teknisen evoluution ja talouden globalisoitumisen mukanaan tuomien muutosten laajuus ja nopeus vaativat uusia vastauksia ja uusia strategioita.

Haasteet tulisi aikaisempaa enemmän nähdä ja hyödyntää mahdollisuuksina, joilla tulevaisuudessa voidaan saavuttaa entistä suurempi menestys. Lisääntyvässä määrin verkottunut ja kompleksinen maailmamme on tekemässä tiedosta tulevaisuuden merkittävimmän raaka-aineen. Tieto lisääntyy eksponentiaalisesti, ja sen omaksuminen edellyttää yksilöltä vankkaa sitoutumista kouluttautumiseen ja jatkuvaan oppimiseen.

Paineilmatekniikassakaan ei enää pitkään aikaan ole riittänyt se, että osaa rakentaa, asianmukaisesti asentaa ja käyttää tehokkaita kompressoreita.

Paineilman tehokas käyttö edellyttää, että paineilmajärjestelmä nähdään kokonaisuutena. Sen lisäksi on tunnettava tämän järjestelmän sisäiset vaikutussuhteet ja osattava kytkeä se osaksi toimintaympäristöä.

Tästä syystä KAESER tarjoaa asiakkailleen koulutusta monin erin tavoin. KAESERin asiantuntijat luennoivat säännöllisesti eri puolilla maailmaa kongresseissa, esitelmätilaisuuksissa ja seminaareissa paineilman tehokkaasta tuottamisesta ja käytöstä. Lisäksi julkaisemme lukuisia ammattijulkaisuja eri medioissa.

Tämä esite sisältää tiivistelmän tästä laajasta asiantuntijatiedosta. Se tarjoaa perusteellisen, helppotajuisen johdannon paineilmatekniikan maailmaan sekä sen ohella joukon käytäntölähtöisiä vinkkejä järjestelmien ja paineilman käyttäjille. Se osoittaa, että usein jo pienetkin paineilmajärjestelmän muutokset voivat tuntuvasti parantaa tämän energianvälittäjän tehokkuutta ja käytettävyyttä.

Kappale 1

Paineilmatuotannon peruskäsitteet

Paineilman suhteen pätee sama kuin muutenkin elämässä: vaikeudet piilevät usein yksityiskohdissa ja pieni kivi saattaa kaataa suurenkin kuorman – niin positiivisessa kuin negatiivisessakin mielessä. Lähemmin tarkasteltuna moni asia myös näyttää erilaiselta kuin ensi silmäyksellä. Niinpä paineilman voi epäedullisissa olosuhteissa olla kallista, mutta oikein suunnitelluissa puitteissa edullista. Ensimmäisessä kappaleessa käsitellään neljää paineilmateknistä käsitettä ja niihin liittyviä huomionarvoisia seikkoja.

1. Tuotto

Kompressorin tuotto on se vapaa ilmamäärä, jonka kompressorin tuottaa puristettuna paineilma-verkoston. Tämän määrän oikea mittaus-tapa on määritelty standardeissa DIN 1945, osa 1, liite F ja ISO 1217, liite C. Tuottoa mitattaessa menetel-lään **kuva 1** mukaisesti seuraavasti: Ensiksi mitataan lämpötila, ilmakehän ilmanpaine ja ilmankosteus laitteiston imuaukon kohdalta.

Tämän jälkeen mitataan maksimi-käyttöpaine, paineilman lämpötila ja siirretyn ilman tilavuus kompressorin poistoaukon kohdalta.

Lopuksi poistoaukon kohdalla mitattu tilavuus V_2 muunnetaan kaasuyhtälön avulla (**ks. kaavio**) takaisin imuolosuh-teita vastaavaksi.

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

Tämän laskelman tuloksena saadaan kompressorilaitteiston tuotto. Sitä ei pidä sekoittaa ruuviyksikön (ruuvikom-pressoreissa) tai kompressorilohkon (mäntäkompressoreissa) tuottoon.

Huom!

DIN 1945 ja ISO 1217 ilmoittavat vain ruuviyksikön/kompressorilohkon tuoton.

2. Moottorin antoteho

Moottorin antoteho tarkoittaa sitä tehoa, jonka kompressorin käyttömoottori siirtää mekaanisena tehona akselille. Moottorin antotehon optimiarvo on piste, jossa moottorin ylikuormittu-matta saavutetaan paras mahdollinen sähköinen hyötysuhde ja tehokerroin $\cos \varphi$. Arvo asettuu moottorin nimellis-tehoalueelle. Se ilmoitetaan moottorin tyyppikilvessä.

Huom! Jos moottorin antoteho poikkeaa suuresti nimellistehosta, käy kompressorin epätaloudellisesti ja/tai altistuu voimakkaammalle kulumiselle.

3. Sähkön ottoteho

Sähkön ottoteho on se teho, jonka kompressorin käyttömoottori ottaa sähköverkosta moottoriakselin tietyllä

mekaanisella kuormituksella (moottorin antoteholla). Ottoteho on moottorin häviöiden verran korkeampi kuin moot-torin antoteho. Häviöitä ovat sähköiset ja mekaaniset sekä laakeroinnin ja ilmanvaihdon aiheuttamat häviöt. Sähkön ottoteho nimellispisteessä voi-daan laskea seuraavan kaavan avulla:

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

U_n , I_n ja $\cos \varphi_n$ löytyvät moottorin tyyppikilvestä.

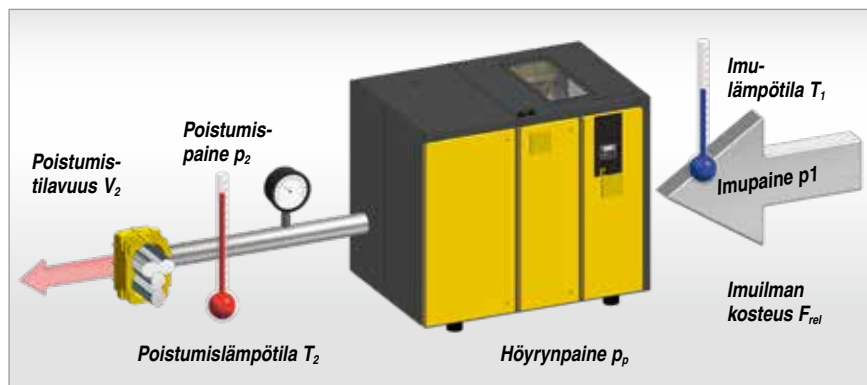
4. Ominaisteho

Sähköisen ottotehon ja käyttöpai-neessa luovutetun ilmamäärän välistä suhdetta kutsutaan ominaistehoksi (**kuva 2**). Kompressorin ottoteho on kaikkien siinä olevien käyttölaitteiden (esim. päämoottorin, tuuletinmoottorin, öljypumpun moottorin, lisälämmityksen jne.) sähkön ottotehojen summa.

Jos ominaisteho tarvitaan talou-dellisuuslaskentaan, tulisi se laskea koko kompressorilaitteesta maksimikäyttöpaineessa.

Tällöin kompressorin kokonaisottoteho maksimipaineessa jaetaan laitteiston tuotolla maksimipaineessa:

$$P_{spec} = \frac{\text{sähköinen ottoteho}}{\text{tuotto}}$$



Kuva 1: Tuoton mittaus ISO 1217 -standardin liitteen C mukaisesti (DIN 1945, liite F)

5. IE – Energiaa säästävien moottorien uusi kaava

USA:n pyrkimykset alentaa oiko-sulkumoottorien energiankulutusta johtivat vuonna 1997 nk. EPACT-lain (Energy Policy and Conservation Act) voimaantumiseen. Sittemmin tehokkuusluokitus on otettu käyttöön myös Euroopassa. Vuodesta 2010 lähtien sähkömoottoreihin on sovellettu kansainvälistä IEC-standardia. Luokitusten ja lakisäätöjen vaatimusten ansiosta Premium-luokan sähkömoottorien

energiatehokkuus on parantunut selvästi. Tehokkaammat moottorit tuovat mukanaan ratkaisevia etuja:

a) Alhaisemmat käyttölämpötilat

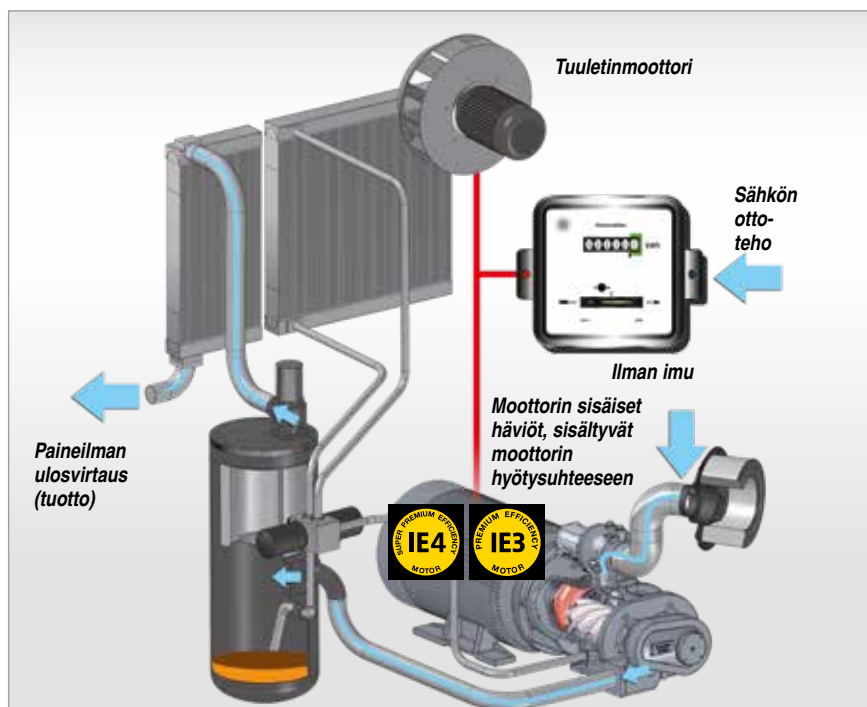
Pienemmissä moottoreissa lämmönmuodostumisen ja kitkan aiheuttamat sisäiset tehohäviöt voivat olla jopa 20 % ottotehosta, 160 kW:n ja sitä suuremmissa moottoreissa 4–5 %. IE3/IE4-moottorit lämpenevät huomattavasti vähemmän häviöidenkin ollessa siten vastaavasti pienemmät (**kuva 3**): kun eristysluokan F perinteisen moottorin käyttölämpötila kohoaa normaalissa kuormituksessa noin 80 K lämpötilareservin ollessa 20 K, kohoaa IE-moottorin lämpötila vastaavissa olosuhteissa vain noin 65 K lämpötilareservin ollessa 40 K.

b) Pidempi käyttöikä

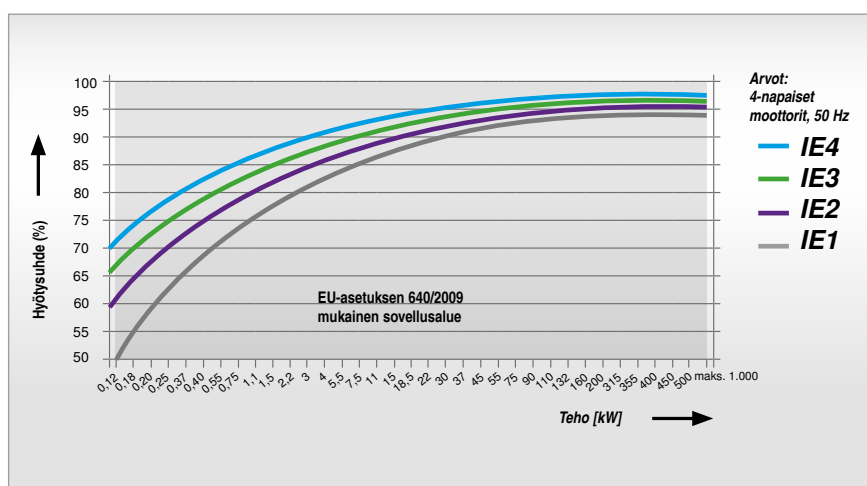
Alhaisemman käyttölämpötilan ansiosta moottorin, laakerien ja liitäntärasian lämpörasitus on pienempi. Tämän seurauksena myös moottorin käyttöikä pitenee.

c) 6 % enemmän paineilmaa vähemmällä energialla

Pienempi lämpöhäviö parantaa taloudellisuutta. Sovittamalla kompressorinsa tarkoin tehokkaampiin moottoreihin KAESER on kyennyt parantamaan laitteidensa tuottoa jopa 6 % ja ominaistehoa jopa 5 %. Tämä tarkoittaa tehokkaampia kompressoreja, lyhentyneitä kompressorien käyntiaikoja ja alhaisempaa energiankulutusta tuotettua paineilmauutiota kohti.



Kuva 2: Ruuvikompressorin periaatteellinen rakenne; ominaistehon määrittely



Kuva 3: IEC-standardi – sähkömoottorien uusi tehokkuusluokitus.

1.1.2015 lähtien IE3-moottorit ovat olleet EU:n alueella pakollisia. Nyttemmin on olemassa vielä tätäkin tehokkaampi hyötysuhdeluokka IE4.

Paineilman taloudellinen jälkikäsittely

Keskusteltaessa siitä, millä kompressorijärjestelmällä parhaiten voidaan tuottaa öljytöntä paineilmaa, yksi seikka on eri kompressorivalmistajien lausunnoista riippumatta kiistaton: korkealaatuista öljytöntä paineilmaa voidaan tuottaa sekä öljyvapailla (kuivakäyvillä) että öljy- tai jäähdytysnestejäähdytteisillä kompressoreilla. Järjestelmän valinnan tulisi sen vuoksi perustua taloudellisuuteen.

1. Mitä tarkoittaa "öljytön paineilma"?

ISO-standardin 8573-1 mukaan paineilmaa voidaan kutsua öljyttömäksi, jos sen öljypitoisuus (öljyhöyryt mukaan luettuna) on alle 0,01 mg/m³. Tämä on noin neljä sadasosaa meitä ympäröivän ilman öljypitoisuudesta. Määrä on niin häviävän pieni, että se hädin tuskin voidaan mittauksilla todeta. Mutta miltä näyttää kompressorien imuilman laatu?

Siihen vaikuttavat voimakkaasti ympäröivät olosuhteet. Jo normaalisti kuormitetuilla vyöhykkeillä voi teollisuuden ja liikenteen aikaansaama hiilivetypitoisuus olla 4–14 mg/m³. Teollisuusalueilla, joissa öljyä käytetään voitelu-, jäähdytys- ja prosessiaineina, jo pelkästään mineraaliöljypitoisuus voi olla yli 10 mg/m³. Tämän lisäksi tulevat muut epäpuhtaudet kuten hiilivedyt, typpidioksidi, noki, metallit ja pöly.

2. Miksi paineilma on jälkikäsitteltävä?

Jokaista kompressoria voidaan verrata jättiläismäiseen pölynmuriin, joka imee epäpuhtauksia, tiivistää ne puristusvaiheessa ja jälkikäsittelyn puuttuessa puhalttaa ne paineilma-verkoston.

a) "Öljyttömät" kompressorit

Edellä mainittu pätee erityisesti kuivakäyviin kompressoreihin. Kohdassa 1 mainittujen imuilman epäpuhtauksien vuoksi kompressorilla, joka on

varustettu ainoastaan 3 mikronin pölysuodattimella, ei ole mahdollista tuottaa öljytöntä paineilmaa. Kuivakäyvissä kompressoreissa ei näiden pölysuodattimien lisäksi ole muita jälkikäsittelykomponentteja.

b) Jäähdytysneste-/öljyjäähdytteiset kompressorit

Öljy- ja jäähdytysnestejäähdytteisissä kompressoreissa jäähdytysneste (öljy) sen sijaan neutralisoi paineilman aggressiiviset aineosat ja erottaa ne osittain paineilmaasta.

3. Ei määriteltyä paineilmalatua ilman jälkikäsittelyä

Tuotetun paineilman korkeammasta puhtausasteesta huolimatta näidenkin kompressorien kohdalla jälkikäsittely on tarpeen. ISO-standardin 8573-1 mukaista öljytöntä paineilmaa ei normaaleissa imuolosuhteissa niissä esiintyvät ilman epäpuhtaudet huomioiden voida tuottaa ilman jälkikäsittelyä sen paremmin kuivakäyvillä kuin öljyjäähdytteisilläkään kompressoreilla. Paineilmatuotannon taloudellisuus riippuu paine- ja tuottoalueista, jotka puolestaan määräävät vaaditun kompressorityypin. Käyttäjän tarpeita vastaavan paineilman jälkikäsittely alkaa riittävästä kuivauksesta. Useimmissa tapauksissa energiaa säästävää jäähdytyskuivaus on taloudellisin menetelmä (ks. myös kappale 3, sivu 9).

4. Jälkikäsittely KAESERin puhdasilmajärjestelmällä

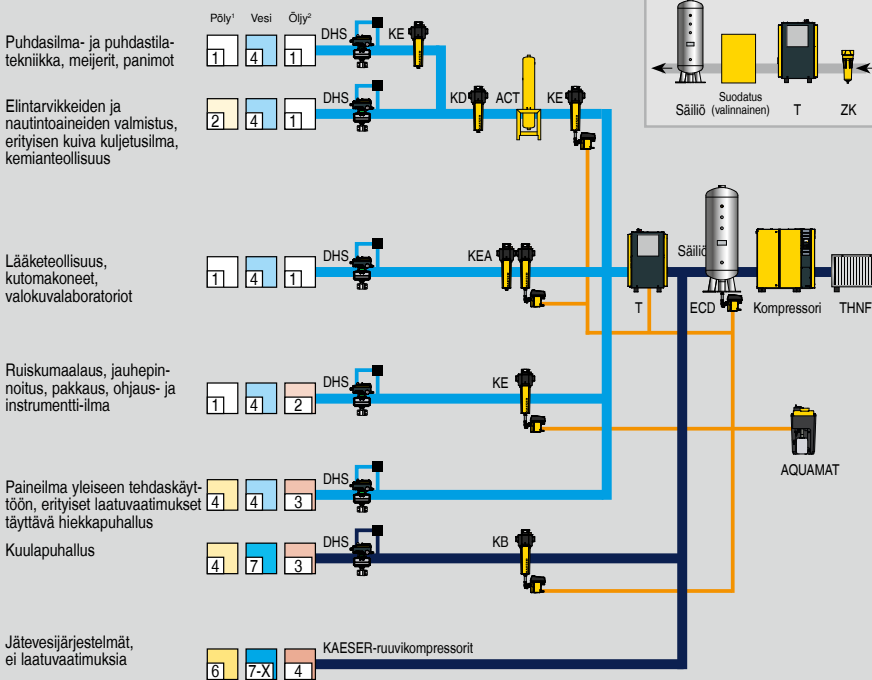
Nyky aikaisten jäähdytysneste- tai öljyjäähdytteisten ruuvikompressorien hyötysuhde on noin 10% korkeampi kuin kuivakäyvien kompressorien. Tämän lisäksi KAESERin jäähdytysneste- tai öljyjäähdytteisille sekä kuivakäyville kompressoreille kehittämä puhdasilmajärjestelmä mahdollistaa jopa 30 %:n lisäsäästön. Tällä järjestelmällä saavutettu jäännösöljypitoisuus

on alle 0,003 mg/m³, ts. se alittaa tuntuvasti ISO-standardissa laatuluokalle 1 määritellyn jäännösöljypitoisuuden raja-arvon. Järjestelmä sisältää kaikki vaaditun paineilmalatua tuottamiseen tarvittavat jälkikäsittelykomponentit. Käyttökohteesta riippuen paineilma kuivataan joko jäähdytys- tai adsorptiokuivaimilla (ks. myös kappale 3, sivu 9) erilaisten suodatinyhdistelmien täydentäessä järjestelmää. Näin voidaan tuottaa luotettavasti ja edullisesti kaikkia ISO-standardin määrittelemiä paineilmalatua kuivasta ja hiukkasvapaasta aina teknisesti öljyttömään ja steriiliin paineilmaan saakka (kuva 1).

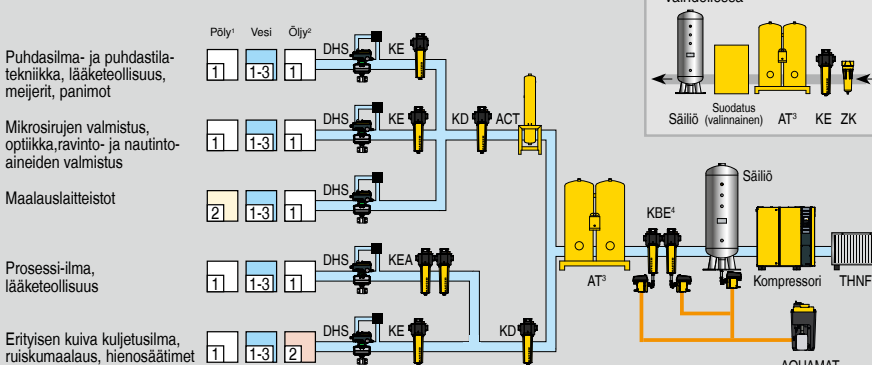
Jälkikäsittelyasteen valinta alan/käyttökohteen mukaan:

Käyttöesimerkkejä: ISO 8573-1 (2010) -standardin mukainen jälkikäsittelyaste

Paineilman jälkikäsittely jäähdytyskuivaimella



Paineilman jälkikäsittely adsorptiokuivaimella



¹) Saavutettavissa oleva hiukkaskokoluokka edellyttäen, että putkitus ja käyttöönnotto on suoritettu asianmukaisesti.

²) Saavutettavissa oleva kokonaisöljypitoisuus käytettäessä suositeltuja kompressorioiljyjä ja imuilman täyttyessä sille asetetut vaatimukset.

³) Lämpövoimayhteisten adsorptiokuivainten jälkeen on asennettava korkeisiin lämpötiloihin soveltuva suodatin ja mahdollisesti myös jälkijäähdytys.

⁴) Kriittisissä käyttökohteissa, joissa vaaditaan erityisen puhtasta paineilmaa (esim. elektroniikka ja optikka), suositellaan Extra Combination -suodattimen käyttöä (KB- ja KE-suodattimen yhdistelmä).

Lyhenteet	
ACT	Aktiivihiljittori
AQUAMAT	AQUAMAT
AT	Adsorptiokuivain
DHS	Paineilmaverkoston täyttöjärjestelmä
Säiliö	Paineilmasäiliö
ECD	ECO DRAIN
KA	Aktiivihiljisuodatin, adsorptio
KB	Koalisattori, Basic
KBE	Extra Combination
KD	Pöly, tomu
KE	Koalisattori Extra
KEA	Carbon Combination
T	Jäähdytyskuivain
THNF	Pussisuodatin
ZK	Syklonierotin

ISO 8573-1:2010 -standardin mukainen paineilman laatuvaatimus

Kiintoaineet/pöly			
Luokka	Erikokoisten hiukkasten maksimimäärä per m³ [d = µm]*		
	0,1 ≤ d ≤ 0,5	0,5 ≤ d ≤ 1,0	1,0 ≤ d ≤ 5,0
0	Yksilöllisistä ratkaisuista voidaan sopia KAESERin kanssa.		
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100
3	ei määritetty	≤ 90.000	≤ 1.000
4	ei määritetty	ei määritetty	≤ 10.000
5	ei määritetty	ei määritetty	≤ 100.000
Hiukkaspitoisuus C _p [mg/m³] *			
6	0 < C _p ≤ 5		
7	5 < C _p ≤ 10		
X	C _p > 10		

Vesi	
Luokka	Painekastepiste [°C]
0	Yksilöllisistä ratkaisuista voidaan sopia KAESERin kanssa.
1	≤ -70 °C
2	≤ -40 °C
3	≤ -20 °C
4	≤ +3 °C
5	≤ +7 °C
6	≤ +10 °C
Nestemäisen veden osuus C _w [g/m³] *	
7	C _w ≤ 0,5
8	0,5 < C _w ≤ 5
9	5 < C _w ≤ 10
X	C _w > 10

Öljy	
Luokka	Kokonaisöljypitoisuus (nesteen, aerosolin ja kaasun muodossa) [mg/m³]*
0	Yksilöllisistä ratkaisuista voidaan sopia KAESERin kanssa.
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	≤ 1,0
4	≤ 5,0
X	> 5,0

*) Standardiolosuhteissa (20 °C, 1 bar(a), ilmankosteus 0 %)

Kuva 1: Yllä olevan kaavion avulla käyttäjä löytää yhdellä silmäyksellä tarpeitaan vastaavan laiteyhdistelmän.

Kappale 3

Miksi paineilma pitää kuivata?

Ilmassa on ongelmia – sanan varsinaisessa merkityksessä: Kun ilmakehän ilma jäähtyy, kuten kompressorin puristusprosessin jälkeen tapahtuu, vesihöyry kondensoituu. Esimerkiksi kompressorin, jonka tuotto on 5 m³/min, tuottaa yhden kahdeksantuntisen työvuoron aikana noin 30 litraa vettä (käyttöolosuhteet: lämpötila +20 °C, ilmankosteus 70 %, paine 1 bar_{abs}). Käyttöhäiriöiden ja vikojen estämiseksi tämä vesi on poistettava paineilmajärjestelmästä. Paineilman edullinen ja ympäristöystävällinen kuivaus on siis tärkeä osa tarpeita vastaavaa jälkikäsittelyä.

1. Käytännön esimerkki

Kun öljyjäähdytteinen ruuvikompressor imee yhden minuutin aikana 20 °C:n lämpötilassa ja ympäristön paineessa 10 m³ ilmaa, jonka suhteellinen kosteus on 60 %, sisältää tämä ilma noin 100 g vesihöyryä. Kun ilma puristetaan 10 baarin absoluuttiseen paineeseen (puristussuhde 1:10), saadaan 1 käyttökuutiometri paineilmaa. Puristusvaiheen jälkeisessä 80 °C:n lämpötilassa yksi kuutiometri pystyy sitomaan itseensä 290 g vettä. Koska vettä on vain noin 100 g, tulee ilman suhteelliseksi kosteudeksi noin 35 %, ts. paineilma on melko kuivaa eikä lauhdetta muodostu. Mutta kompressorin jälkijäähdyttimessä paineilman lämpötila putoaa 80 °C:sta noin 30 °C:seen.

Tämän jälkeen yksi kuutiometri ilmaa kykenee sitomaan itseensä enää vain noin 30 g vettä. Ylimääräistä vettä muodostuu noin 70 g/min. Tämä vesi kondensoituu ja erottuu paineilmast. Kahdeksantuntisen työpäivän aikana syntyy tällä tavoin noin 35 litraa lauhdetta. Lauhteen määrä kasvaa vielä noin 6 litralla päivässä, jos kompressorin seuraa jäähdytyskuivain. Siinä paineilma jäähdytetään ensin +3 °C:seen ja lämmitetään sitten takaisin ympäristölämpötilaa vastaavaksi. Näin ilman suhteelliseksi kosteudeksi saadaan noin 20 %, ja paineilma tulee laadultaan parempaa ja suhteellisen kuivaa (kuva 1).

2. Ilma on aina kosteata

Meitä ympäröivä ilma on aina jossain määrin kosteata, ts. se sisältää myös tietyn määrän vettä. Kosteus riippuu kulloinkin vallitsevasta lämpötilasta. Esimerkiksi yksi kuutiometri 100-prosenttisesti vesihöyrykylläistä ilmaa sitoo +25 °C:n lämpötilassa liki 23 g vettä.

3. Lauhteen muodostuminen

Lauhdetta muodostuu, kun ilman tilavuutta pienennetään ja samalla alennetaan sen lämpötilaa. Tällä tavoin ilman kyky sitoa itseensä vettä heikenee. Juuri näin tapahtuu puristuksen jälkeen kompressorisyksikössä ja kompressorin jälkijäähdyttimessä.

4. Tärkeitä käsitteitä

a) Absoluuttinen ilmankosteus

Absoluuttinen ilmankosteus ilmoittaa ilman vesihöyrypitoisuuden. Se ilmaistaan yksiköllä g/m³.

b) Suhteellinen ilmankosteus (H_{rel})

Suhteellinen ilmankosteus ilmoittaa kylläisyysasteen, ts. todellisen vesihöyrypitoisuuden suhteen kulloiseenkin ilman kylläisyyspisteeseen (suhteellinen kosteus H_{rel} 100 %). Se riippuu lämpötilasta: lämmin ilma sitoo itseensä enemmän vesihöyryä kuin kylmä.

c) Ilmakehän kastepiste

Ilmakehän kastepiste on se lämpötila, jossa ilma ilmakehän paineessa (ympäristöolosuhteissa) muuttuu 100-prosenttisesti kosteudelle kylläiseksi eli saavuttaa 100-prosenttisen suhteellisen kosteuden (H_{rel}).

d) Painekastepiste

Painekastepisteellä tarkoitetaan sitä lämpötilaa, jossa paineilma absoluuttisessa paineessaan muuttuu 100-prosenttisesti kosteudella kylläiseksi eli saavuttaa 100-prosenttisen suhteellisen kosteuden. Edellä olevaan esimerkkiin sovellettuna tämä tarkoittaa, että 10 baarin absoluuttisessa paineessa olevan ilman absoluuttinen ilmankosteus +3 °C:n painekastepisteessä on 6 g yhtä käyttökuutiota kohden. Jos esimerkissä mainitun käyt-



Kuva 1: Lauhteen muodostuminen paineilmaa tuotettaessa, varastoitaessa ja jälkikäsittelyssä (viitearvot: 10 m³/min, 10 bar_{abs}, 8 h, 60 % H_{rel} ja 20 °C)

tökuutiometrin 10 baarin absoluuttinen paine alennetaan ilmakehän painetta vastaavaksi, kasvaa sen tilavuus jälleen kymmenkertaiseksi. Vesihöyrymäärä (6g) pysyy ennallaan, mutta jakautuu nyt kymmenkertaisen tilavuuden osalle. Yksi kuutiometri ilmakehän paineessa olevaa ilmaa sisältää siis enää vain 0,6 g vesihöyryä. Tämä vastaa ilmakehän kastepistettä $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$.

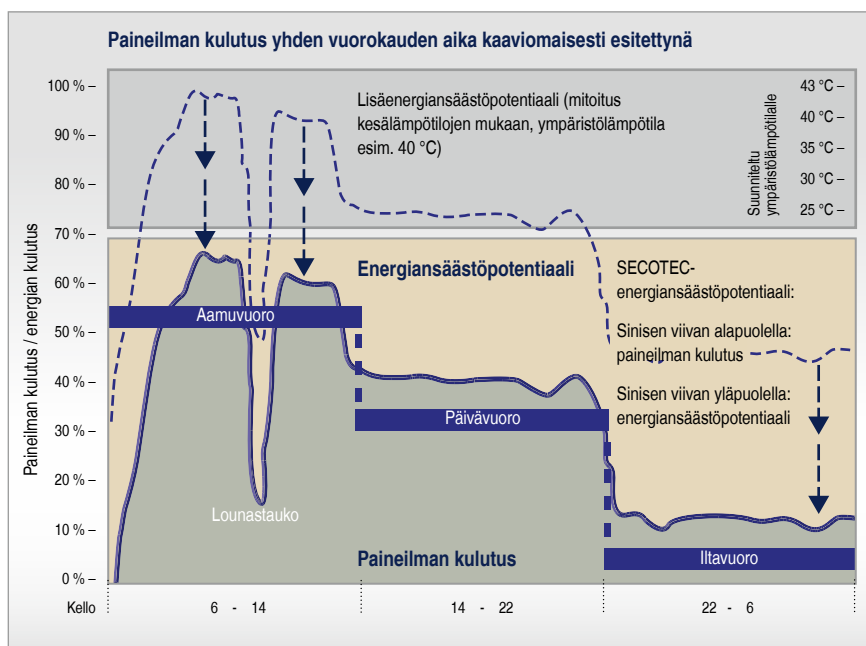
5. Taloudellinen ja ympäristöystävällinen paineilman kuivaus – jäähdytys- vai adsorptiokuivain?

Kylmäaineita koskevista lainsäädännöllisistä muutoksista huolimatta adsorptiokuivaimia ei voida pitää varteenotettavana vaihtoehtona jäähdytyskuivaimille, jos lähtökohdaksi otetaan taloudellisuus ja ympäristötase. Jäähdytyskuivaimet vaativat nimittäin vain 3 % siitä energiasta, jonka kompressorin tarvitsee paineilman tuottamiseen, adsorptiokuivaimet sitä vastoin vähintään 10–25 %. Normaalitapauksissa jäähdytyskuivaimet ovat siis suositeltavin vaihtoehto.

Kuivausmenetelmä	Painekastepiste $^{\circ}\text{C}$	Tyypillinen ominaistehonotto $\text{kW} / \text{m}^3/\text{min}^{**}$
Jäähdytyskuivain	+3	0,1
HYBRITEC	+3 / -40 *) -40	0,2 0,3
Lämpöelvytteinen adsorptiokuivain	-40	0,5...0,6
Kylmäelvytteinen adsorptiokuivain	-20 -70	1,4...1,6

Kuva 2: Kuivausmenetelmä valitaan halutun painekastepisteen mukaan

Adsorptiokuivainten käyttö on tarkoituksenmukaista vain, jos tarvitaan erittäin kuivaa paineilmaa, jonka kastepiste on $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ tai jopa $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (**kuva 2**). Yhden työpäivän aikana paineilman kulutus saattaa heilahdella hyvinkin voimakkaasti. Sama pätee vuosiku-



Kuva 3: Pysäytyssäädöllä toimivien jäähdytyskuivainten energiansäästöpotentiaali

lutukseen, jonka yhteydessä on vielä huomioitava suuret lämpötilavaihtelut. Sen vuoksi paineilman kuivaimet on mitoitettava huonoimpien ajateltavissa olevien olosuhteiden mukaan: alhaisin paine, suurin paineilman kulutus sekä korkein ympäristö- ja paineilman tulolämpötila.

Aikaisemmin tämä tehtävä ratkaistiin pitämällä kuivaimet jatkuvasti käynnissä. Siitä seurasi, että energiaa tuhlaantui suuret määrät varsinkin osakuormituskäynnillä. Pysäytyssäädöllä toimivat nykyaikaiset jäähdytyskuivaimet sen sijaan mukauttavat energiankulutuksensa vaihteleviin olosuhteisiin paineilman laadun heikentymättä (**kuva 3**). Näin energiaa voi säästyä vuodessa yli 50 %.

Energiatohokkaan tekniikan käyttö on tärkeää varsinkin alle nollapisteen painekastepisteiden saavuttamiseksi, sillä tähän tarkoitukseen käytetyt adsorptiokuivaimet kuluttavat erittäin paljon energiaa. Sekä kustannus- että energiatohokkaalla HYBRITEC-menetelmällä energiankulutusta on

tässä onnistuttu selvästi alentamaan. Järjestelmä koostuu jäähdytys- ja adsorptiokuivaimesta. Ensimmäisessä vaiheessa jäähdytyskuivain jäähdyttää sisään virtaavan paineilman $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$:n painekastepisteeseen. Tämän esikuivauksen jälkeen paineilma virtaa adsorptiokuivaimen, joka nyt kuluttaa huomattavasti vähemmän energiaa kuivatessaan paineilman edelleen $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$:n painekastepisteeseen.

Kappale 4

Lauhteen automaattinen poisjohtaminen

Lauhteen muodostumista paineilmaa tuottaessa ei voida välttää. Jo 30 kW:n kompressorin, jonka tuotto on 5 m³/min, tuottaa keskimääräisissä käyttöolosuhteissa noin 20 litraa lauhdetta yhden työvuoron aikana. Toimintahäiriöiden ja korroosioaurioiden välttämiseksi lauhde on poistettava paineilmajärjestelmästä. Tässä kappaleessa kerromme, kuinka lauhde poistetaan oikein ja kustannustietoisesti.

1. Lauhteenpoisto

Jokaisessa paineilmajärjestelmässä syntyy epäpuhtauksia sisältävää lauhdetta tiettyihin kohtiin (kuva 1). Luotettava lauhteenpoisto on sen vuoksi ehdottoman välttämätöntä. Se vaikuttaa oleellisesti paineilman laatuun sekä paineilmajärjestelmän toimintavarmuuteen ja taloudellisuuteen.

a) Mihin lauhdetta muodostuu?

70–80 % lauhdesta kerääntyy paineilmajärjestelmän mekaanisiin osiin – olettaen, että kompressoreissa on tehokas jälkijäähdytys.

Syklonierotin:

Tämä mekaaninen erotin erottaa lauhteen ilmasta keskipakovoiman avulla (kuva 2). Optimaalisten toimintaedellytysten saavuttamiseksi kuhunkin syklonierottimeen tulee liittää vain yksi kompressorin.

Välijäähdytys:

Kaksivaiheisissa, välijäähdyttimillä varustetuissa kompressoreissa lauhdetta kertyy myös välijäähdyttimen erottimeen.

Paineilmasäiliö:

Päätehtävänsä eli paineilman varastoinnin ohella säiliö erottaa ilmasta lauhdetta painovoiman avulla (kuva 1). Riittävän suuri paineilmasäiliö (kompressorin tuotto/min : 3 = paineilmasäiliön minimitalavuus kuutiometreinä) on yhtä



Kuva 1: Jokaisessa paineilmajärjestelmässä muodostuu tiettyihin kohtiin lauhdetta.

tehokas lauhteenpoistaja kuin syklonierotin. Syklonierottimesta poiketen paineilmasäiliö voidaan asentaa kompressoriaseman pääpaineilmajohtoon edellyttäen, että paineilma virtaa sisään säiliön alaosassa ja poistuu ylhäällä sijaitsevan aukon kautta. Suuren lämpösäteilypintansa ansiosta säiliö myös tehostaa paineilman jäähtymistä ja parantaa siten lauhteen erottumista.

Vesikuoppa paineilmajohtossa:

Jotta lauhde ei voisi virrata epämieluisesti paineilmajärjestelmässä, on kosteata paineilmaa kuljettava paineilmajohto suunniteltava siten, että kaikki siihen johtavat ja siitä erkanevat paineilmajohtot osoittavat joko ylöspäin tai sivulle.

Alaspäin suunnatut lauhteenjohtimet, nk. vesikuopat, poistavat lauhdetta runkojohtosta. Paineilman virtausnopeuden ollessa 2–3 m/s ja vesikuopan ollessa oikein suunniteltu (kuva 3) se erottaa lauhteen paineilma- ja paineilmajärjestelmän kostealla alueella yhtä tehokkaasti kuin paineilmasäiliö (kuva 1).

b) Paineilman kuivaimet

Yllä mainittujen kohteiden lisäksi lauhdetta muodostuu myös paineilmaa kuivattaessa.

Jäähdytyskuivain:

Paineilma kuivuu lämpötilan alenemisen myötä ja näin ollen lauhdetta kertyy myös jäähdytyskuivaimen.

Adsorptiokuivain:

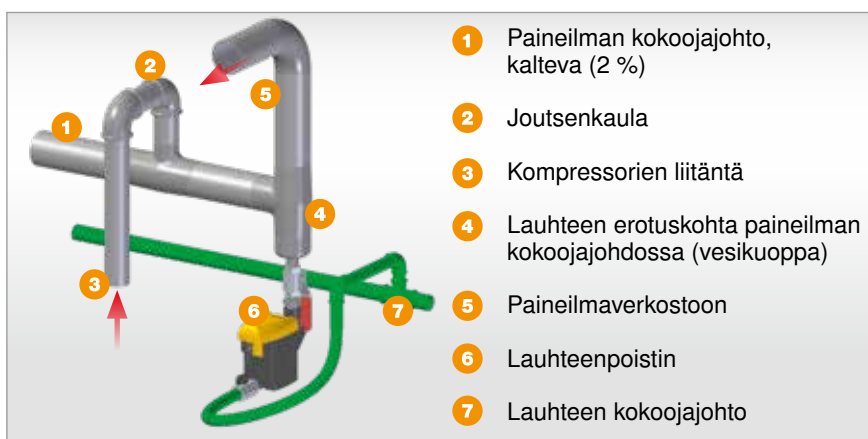
Johdoissa paineilman lämpötila alenee, ja lauhdetta muodostuu jo adsorptiokuivaimen esisuodattimeen. Osapaineen vuoksi itse adsorptiokuivaimessa esiintyvä kosteus on höyryn muodossa.

c) Hajautettu erotin

Jos paineilmaa ei kuivata keskitetysti, kertyy paineilman käyttökohteita edeltäviin vedenerottimeihin suuret määrät lauhdetta.

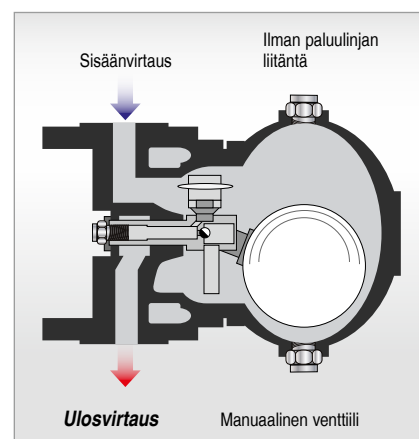


Kuva 2: Syklonierotin, varustettu lauhteenpoistimella



- 1 Paineilman kokoojajohto, kalteva (2 %)
- 2 Joutsenkaula
- 3 Kompessorien liitântä
- 4 Lauhteen erotuskohta paineilman kokoojajohdossa (vesikuoppa)
- 5 Paineilmaverkostoon
- 6 Lauhteenpoistin
- 7 Lauhteen kokoojajohto

Kuva 3: Vesikuoppa lauhteenpoistimiseen paineilmajärjestelmän kostealla alueella



Kuva 4: Lauhteen poisto paineilmaasta uimuriventtiilin avulla

2. Poistojärjestelmät

Tällä hetkellä käytetään yleisimmin seuraavia menetelmiä:

A) Uimuriventtiili

Uimuriventtiilit kuuluvat vanhimpiin lauhteenpoistomenetelmiin. Ne korvasivat aikoinaan täysin epätaloudellisen ja epäluotettavan manuaalisen lauhteenpoiston. Paineilman sisältämien epäpuhtauksien vuoksi myös uimuriventtiilit (kuva 4) ovat erittäin alttiita häiriöille ja vaativat jatkuvaa huoltoa.

b) Magneettiventtiili

Aikaohjatut magneettiventtiilit toimivat luotettavammin kuin uimuriventtiilit, mutta epäpuhtauksien vuoksi nekin on tarkastettava säännöllisin välein. Väärin asetetut venttiilien avautumisajat aiheuttavat painehäviötä ja lisäävät energiakulutusta.

c) Taso-ohjattu lauhteenpoistin

Nykyisin käytetään useimmiten älykkeitä, taso-ohjauksella varustettuja lauhteenpoistimia (kuva 5). Niissä häiriöille altti uimuriventtiili on korvattu elektronisella poistimella. Näin epäpuhtauksien tai mekaanisen kulumisen aiheuttamat toimintahäiriöt on voitu eliminoida. Venttiilin tarkkaan säädettyjen avautumisaikojen ansiosta painehäviöt voidaan luotettavasti estää.

Lisäksi laitteissa on automaattinen itsevalvonta, ja anturien lähettämät signaalit on mahdollista siirtää suoraan ohjaustekniikkaan.

d) Oikea asennus

Lauhteenerotusjärjestelmän ja lauhteenpoistimen väliin tulisi aina asentaa lyhyt palloventtiilillä varustettu johto (kuvat 2 ja 3).

Näin lauhteenpoistin voidaan sulkea huoltotöiden ajaksi, ja paineilmalaitteiston toiminta voi jatkua keskeytyksettä.



Kuva 5: Elektronisesti taso-ohjattu lauhteenpoistin (tyyppi: ECO DRAIN)

Kappale 5

Lauhteen taloudellinen ja luotettava jälkikäsittely

Paineilmatuotannon yhteydessä pakostakin muodostuvan lauhteen kohdalla kyse ei ole vain tiivistyneestä vesihöyrystä. Jokainen kompressorin on kuin ylivoimainen epäpuhtaudet siirtyvät paineilmaan ja edelleen tiivistetyssä muodossa lauhteeseen.

1. Miksi lauhde käsitellään?

Paineilmatuotannon aikana syntyvä lauhde on ongelmallinen sekoitus, eikä sitä tule sellaisenaan päästää viemäristöön. Ympäristökuormituksen vuoksi se sisältää paitsi kiinteitä hiukasia myös hiilivetyjä, rikkidioksidiä, kuparia, lyijyä, rautaa jne. Epäpuhtauksille, joita yleiseen viemäriverkostoon johdettava jätevesi saa sisältää, on olemassa tarkat raja-arvot. Ne koskevat kaikenlaisia paineilmalauhteita – myös lauhteita, jotka ovat peräisin öljyttömästi puristavista kompressoreista.

Eri paikkakunnilla sovellettavista raja-arvoista (esim. hiilivety- ja pH-arvo) antavat parhaiten tietoa paikalliset vesilaitokset.

2. Eri tyyppiset lauhteet (kuva 1)

a) Dispersio

Lauhdetta voi esiintyä eri muodoissa. Dispersiomaista lauhdetta syntyy useimmiten öljyjäähdytteissä kompressoreissa, joissa käytetään Sigma Fluid S460 -tyyppistä synteettistä jäähdytysöljyä. Tällaisen lauhteen pH-arvo on yleensä 6–9, ts. lauhdetta voidaan pitää pH-arvoltaan neutraalina. Ympäristöstä ilmasta peräisin olevat epäpuhtaudet sitoutuvat lauhteen pintaan muodostuvaan öljykerrokseen, joka on helppo erottaa vedestä.

b) Emulsio

Emulsiomaisen lauhteen selvin merkki on maitomainen neste, jonka aineosat eivät useankaan päivän kuluessa hajoa kahdeksi eri faasiksi. Tämän tyyppistä

lauhdetta muodostuu usein mäntä-, ruuvi- ja lamellikompressoreihin, joissa käytetään perinteisiä öljyjä. Myös tällaisessa lauhteessa haitalliset aineet on sidottu öljyyn.

Öljy ja vesi samoin kuin imetyt epäpuhtaudet, esim. pöly ja raskasmetallit, eivät voimakkaan sekoittumisen vuoksi kuitenkaan erotu toisistaan painovoiman vaikutuksesta. Jos öljyssä esiintyy estereitä, saattaa lauhde myös olla aggressiivista, jolloin se on neutraaloitava. Tällaisten lauhteiden käsittely on mahdollista vain emulsion hajottavilla laitteilla.

3. Lauhteen hävitys ongelmajätteenä

Luonnollisesti on mahdollista ottaa lauhde talteen ja antaa sen hävitys ongelmajätteisiin erikoistuneen yrityksen tehtäväksi. Lauhteen laadusta riippuen kustannukset saattavat kuitenkin muodostua huomattavan korkeiksi. Kun huomioidaan syntyvän lauhteen määrä, on yrityksen sisällä tapahtuva lauhteenkäsittely useimmiten kannattavampi vaihtoehto. Sillä on se etu, että alkuperäisestä ongelmajättemäärästä jää jäljelle vain n. 0,25 %.

4. Käsittelymenetelmät

a) Dispersiokäsittely

Tämäntyyppisen lauhteen jälkikäsittelyyn riittää yleensä kolmikammioinen erotin, joka koostuu kahdesta esierotuskammioista ja yhdestä aktiivihiihisuodattimella varustetusta kammioista (kuva 2). Varsinainen erotus tapahtuu painovoiman avulla. Laitteen erotuskammiossa nesteen pinnalle muodostuva öljykerros johdetaan erilliseen astiaan ja hävitetään jäteöljyn tavoin.

Jäljelle jäävä vesi suodatetaan kahdessa vaiheessa, minkä jälkeen se voidaan johtaa yleiseen viemäriverkostoon. Painovoiman avulla tapahtuva erotus on kustannuksiltaan noin 95 % edullisempaa kuin käsittelemättömän lauhteen hävitys ongelmajätteenä.

Nykyään tarjolla olevat lauhteenkäsittelylaitteet soveltuvat kompressoreille, jotka tuottavat paineilmaa 105 m³:iin saakka minuutissa. Tuotannon ollessa tätä suurempi useampia lauhteenkäsittelylaitteistoja voidaan luonnollisesti kytkeä rinnakkain.



Kuva 1: Jokaiseen kompressorin pääsee ympäristöstä imetyn ilman mukana vesihöyryä ja epäpuhtauksia. Puristusvaiheen aikana muodostuvasta lauhteesta (kuva 1, 1) on poistettava öljy ja muut haitalliset aineet (kuva 1, 2), ennen kuin se on riittävän puhdasta viemäriverkostoon johdettavaksi (kuva 1, 3).



Kuva 2: Painovoimaperiaatteella toimivan lauhteenerotusjärjestelmän toiminta

b) Emulsion käsittely

Stabiilien emulsioiden käsittelyssä käytetään nykyisin pääasiassa kahdentyyppisiä laitteita:

Kalvoerottimet toimivat ultrasuodatusperiaatteella, joka perustuu ns. cross flow -menetelmään. Esisuodatettu lauhde virtaa kalvojen yli osan nesteestä läpäistessä kalvot. Käsittelyn jälkeen erottimesta poistuva neste voidaan johtaa viemäriverkostoon.

Toisen laitetyypin toiminta perustuu pulverimaisen hajotusaineen käyttöön. Aine kapseloi öljyhiukkaset muodostaen täten helposti suodatettavia hiutaleita. Tarkoin määritellyn huokoisuuden omaava suodatin suodattaa nämä hiutaleet tehokkaasti, ja jäljelle jäävä vesi voidaan johtaa viemäristöön.

Kappale 6

Kompressorien tehokas ohjaus

Paljon energiaa kuluttavat ja siten kalliit osakuormitusvaiheet voidaan välttää vain, jos kompressorien tuotto on mukautettu oikein vaihtelevaan paineilmatarpeeseen. Kompressorien oikea ohjaus on energiatehokkuudessa avainasemassa.

Jos kompressorien kuormitusaste on alle 50 %, tulisi kaikkien energian tuhlauksesta varoittavien hälytyskellojen soida. Monet käyttäjät eivät ole tästä tietoisia, koska heidän kompressoreissaan on ainoastaan käyttötuntimittari mutta ei kuormitustuntimittaria. Oikein mitoitettut ohjausjärjestelmät tuovat apua ongelmaan: ne voivat nostaa

käyttöasteen yli 90 %:iin saaden täten aikaan 20 %:n ja jopa sitäkin suuremman energiansäästön.

1. Sisäinen ohjaus

a) Kuormitus-kevennyskäyntisäätö

Useimmat kompressorit toimivat oikosulkumootoreilla. Näiden moottorien kytkentätaajuus alenee tehon suureudessa. Se ei vastaa sitä kytkentätaajuutta, joka on tarpeen alhaisen kytkentäeron omaavien kompressorien poiskytkemiseksi ja käynnistämiseksi paineilman todellista tarvetta vastaavasti. Nämä kytkennät kuitenkin

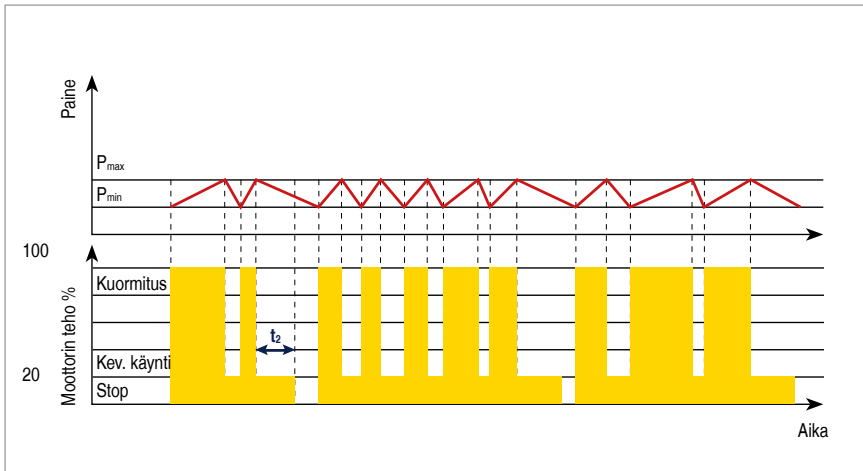
keventävät vain kompressorin paineenalaisia alueita moottorin jatkaessa vielä jonkin aikaa käyntiään (**kuva 1**). Tähän kuluva energia voidaan pitää häviönä. Tällä tavoin kytkeytyvien kompressorien energiantarve on kevennyskäynnin aikana yhä edelleen vähintään 20 % kuormituskäynnin energiantarpeesta.

Nykyaikaiset tietokoneilla optimoidut säätöjärjestelmät kuten Quadro-säätö automaattisine optimaalisen käyntitavan valintoihin (**kuva 2**), Dynamic-säätö käyttömoottorin lämpötilasta riippuvine kevennyskäyntiaikoihin (**kuva 3**) ja Vario-säätö muuttuvine kevennyskäyntiaikoihin (**kuva 4**) auttavat välttämään kalliit kevennyskäyntijaksot ja suojaavat tehokkaasti moottoria.

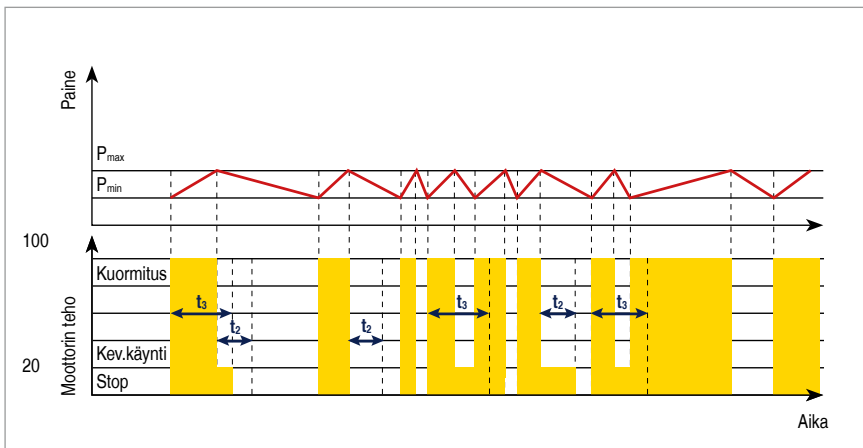
Imupuolen kuristuksella toteutettua proportionaalisäätöä ei voida suositella, sillä kompressorin vaatii 50-prosenttisella tuotolla edelleen 90 % siitä energiasta, jonka se kuluttaisi 100-prosenttisella tuotolla.

b) Taajuusmuuttajat

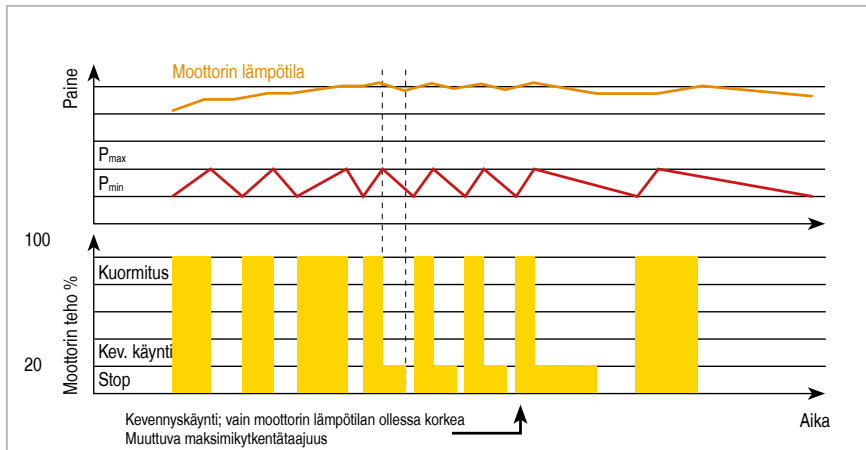
Kompressoreissa, joiden kierroslukua säädetään taajuusmuuttajilla (**kuva 5**), hyötysuhde ei ole vakaa koko niiden säätöalueella. Esimerkiksi 90 kW:n moottorissa se alenee 30–100 %:n alueella 94 %:sta 86 %:iin. Lisäksi on huomioitava taajuusmuuttajasta johtuva häviö ja kompressorien epälineaariset suoritusominaisuudet. Nopeussäädetyt kompressoreita tulisi käyttää 40–70 %:n säätöalueella, jolloin ne ovat kaikkein taloudellisimpia. Nämä komponentit tulisi mitoittaa 100-prosenttiselle kuormitukselle. Väärin käytettyinä taajuusmuuttajat voivat siis olla todellisia energian suurkuluttajia ilman, että käyttäjä on siitä tietoinen. Taajuusmuuttaja ei ole mikään yleislääke, jos kompressoreita halutaan käyttää mahdollisimman energiataloudellisesti.



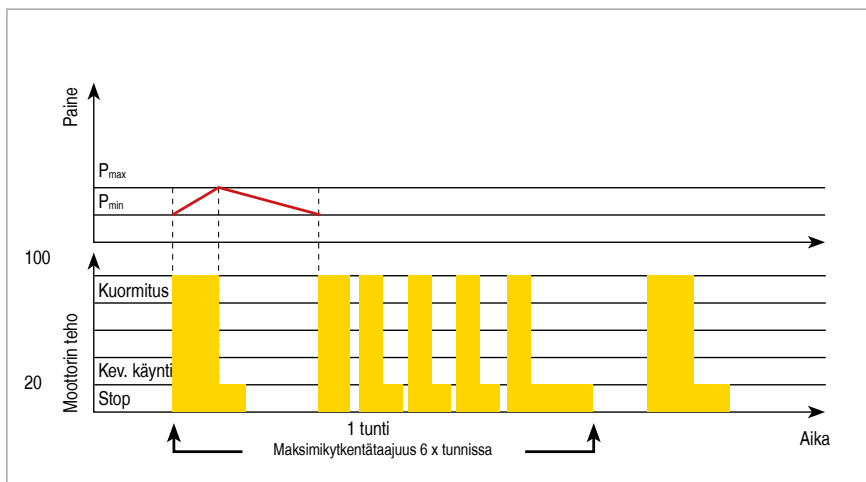
Kuva 1: Kuormitus-kevennyskäynti-pysäytysäätö; kiinteästi asetetut kevennyskäyntiajat – nk. Dual-säätö



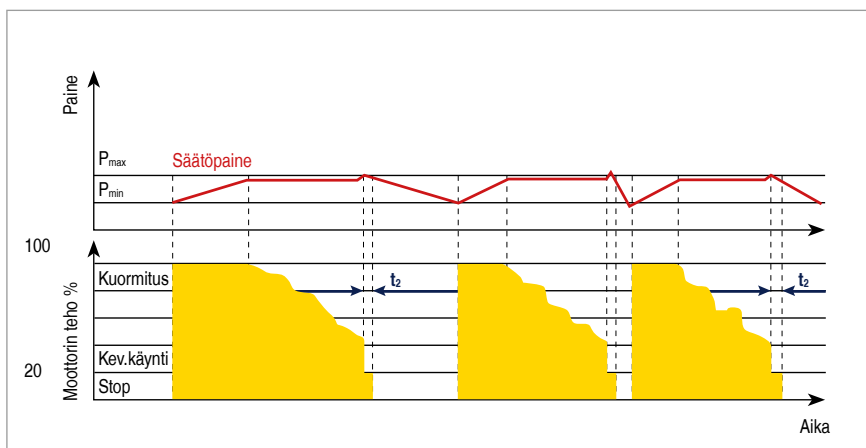
Kuva 2: Kuormitus-kevennyskäynti-pysäytysäätö; optimaalisen käyntitavan automaattinen valinta – nk. Quadro-säätö



Kuva 3: Dual-säätöön pohjautuva Dynamic-säätö; käyttömoottorin lämpötilasta riippuvat kevennyskäyntiajat



Kuva 4: Vario-säätö; vaihtelevasti lasketut kevennyskäyntiajat



Kuva 5: Tuoton jatkuva säätö moottorin kierrosluvun kautta (taajuusmuuttaja)

Kappale 6

Kompressorien tehokas ohjaus

2. Ilmantarpeen luokittelu

Kompressorit voidaan niiden käytön mukaan luokitella peruskuormitus-, keskikuormitus-, huippukuormitus- ja varakoneisiin.

a) Peruskuormituksen ilmantarve

Peruskuormituksen ilmantarpeella tarkoitetaan sitä ilmamäärää, jonka prosessi jatkuvasti vaatii.

b) Huippukuormituksen ilmantarve

Huippukuormituksen ilmantarpeella tarkoitetaan kulutushuippujen aikana tarvittavaa paineilmamäärää. Käyttäjien erilaisista vaatimuksista johtuen sen määrä vaihtelee.

Jotta erilaiset kuormitusvaatimukset voitaisiin täyttää, on kompressoreissa oltava erilaisia ohjauksia. Näiden ohjausten on pystyttävä ylläpitämään kompressorien toiminta ja turvaamaan paineilman saanti ohjaustekniikan toiminnan häiriytyessä.

3. Pääohjaus

Nykyaikaiset pääohjaukset www-pohjaisine ohjelmistoineen osaavat paljon muutakin kuin vain koordinoida paineilma-aseman kompressorien käynnin energiatehokkaasti. Ne kykenevät myös keräämään tietoa järjestelmän taloudellisuudesta ja dokumentoimaan paineilmatuotannon taloudellisuuden.

a) Laitteiston ositus

Osituksella tarkoitetaan kompressorien jakoa teholtaan ja ohjaukseltaan saman- tai erilaisiin yksikköihin prosessin perus- ja huippukuormituksen aikaisen ilmantarpeen mukaan (kuva 6).

b) Pääohjauksen tehtävät

Kompressorien käynnin koordinointi on sekä vaativa että moniulotteinen tehtävä. Ei riitä, että pääohjausjärjestelmät osaavat oikealla hetkellä ottaa käyttöön eri tyyppisiä ja kokoisia kompressoreja: huoltokustannusten alentamiseksi ja toimintavarmuuden parantamiseksi

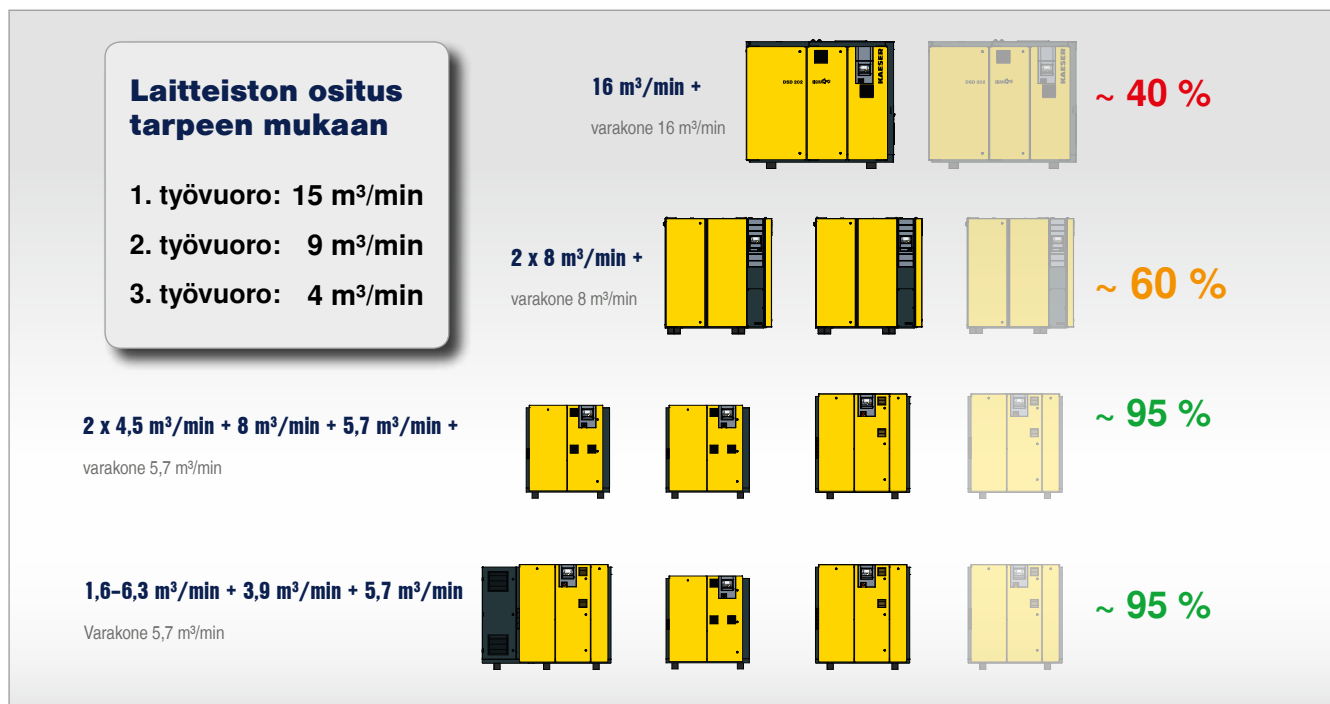
niiden on myös pystyttävä valvomaan laitteistoja huoltoteknisesti, yhtenäistämään kompressorien käyntiajat ja tunnistamaan häiriöt.

c) Oikea porrastus

Tehokkaan – ts. energiaa säästävän – pääohjausjärjestelmän tärkein edellytys on kompressorien aukoton porrastus. Huippukuormituskoneiden yhteenlasketun tuoton on sen vuoksi oltava suurempi kuin seuraavaksi kytkeytyvän peruskuormituskoneen tuoton. Taajuusmuuttajalla varustettua huippukuormituskonetta käytettäessä säästöalueen on vastaavasti oltava suurempi kuin seuraavaksi kytkeytyvän kompressorin tuoton. Muussa tapauksessa paineilmatuotannon taloudellisuutta ei voida taata.

d) Luotettava tiedonsiirto

Pääohjausjärjestelmän moitteeton toiminta ja tehokkuus edellyttävät luotettavaa tiedonsiirtoa. Ensinnäkin on varmistettava ilmoitusten kulku sekä



Kuva 6: Kuormituksen jakautuminen tarpeen mukaan teholtaan erikokoisten kompressorien kesken



Kuva 7: Pääohjausjärjestelmän monipuoliset kytkentämahdollisuudet luovat edellytykset paineilma-aseman tehokkaalle käynnille

yksittäisten kompressorilaitteiden sisällä että yksittäisten kompressorien ja pääohjauksen välillä. Lisäksi sen on valvottava signaalien reittejä, jotta häiriöt, kuten esimerkiksi yhdyskaapelin katkos, voidaan välittömästi tunnistaa.

Tavallisimmat siirtoreitit ovat

1. potentiaalivapaat koskettimet
2. 4–20 mA:n analogiset signaalit
3. elektroniset liitännät, esim. RS 232, RS 485, Profibus DP tai Ethernet.

Nykyaikaisinta siirtotekniikkaa edustaa Profibus-väylä, jonka avulla suuria tietomääriä voidaan nopeasti ja ongelmitta siirtää pitkiäkin matkoja. Kun se yhdistetään Ethernet-tekniikkaan ja nykyaikaiseen puhelintekniikkaan, on myös kytkentä standardisoituihin tietokone- ja valvontajärjestelmiin mahdollista. Ylemmän tason ohjausjärjestelmät voidaan näin ollen sijoittaa myös erilleen paineilma-asemasta (kuva 7).

Kompressorien optimaalinen yhteensovittaminen paineilman kulutuksen mukaan

Useimmiten paineilma-asemat koostuvat useasta saman- tai erikokoisesta kompressorista. Näiden yksittäisten koneiden koordinoiminen vaatii pääohjausjärjestelmän, joka mukauttaa paineilmatuotannon vastaamaan optimaalisesti käyttökohteen tarpeita varmistaen samalla maksimaalisen energiatehokkuuden.

Yleisesti kompressoriohjauksiksi kutsutut järjestelmät ovat säätötekniikan näkökulmasta tarkasteltuina säätöjä. Ne jakautuvat neljään ryhmään:

1. Kaskadisäätö

Klassinen tapa yhdistää kompressorit säätötekniisesti toisiinsa on nk. kaskadisäätö. Tässä ohjauksessa jokaiselle kompressorille määritellään alempi ja ylempi kytkentäpiste. Jos koordinoitavia kompressoreja on useampia, saadaan tällä tavoin aikaan porras- tai kaskadimainen säätöjärjestelmä. Paineilmatarpeen ollessa vähäistä vain yksi kompressor käynnistyy, jolloin paine heilahtelee ylemmällä alueella tämän kompressorin minimipaineen ($p_{\min}$) ja maksimipaineen ($p_{\max}$) välillä. Ilmantarpeen lisääntyessä ja useampien kompressorien käynnistyessä paine putoaa (kuva 1, sarake 1).

Tämä saa aikaan suhteellisen epäedullisen yhtälön: paineilman kulutuksen ollessa vähäistä järjestelmässä valitsee maksimipaine ja energiahäviöt kasvavat vuotojen seurauksena; kulutuksen ollessa suurta paine sen sijaan putoaa ja järjestelmän painereservi pienenee.

Riippuen siitä, käytetäänkö viestimuuttimina perinteisiä kalvopainekeytkimiä, kosketuspainemittareita vai elektronisia paineenmittauslaitteita, on säätöjärjestelmän painehajonta erittäin suuri, koska kompressorit on yksilöllisesti kohdistettu tiettyyn painealueeseen. Mitä useampi kompressor on käytössä, sitä suuremmiksi painealueet yhteensä muodostuvat. Seurauksena on tehon säätö ja jo edellä mainitut korkeammat paineet sekä lisääntyneet vuodot ja energiahäviöt. Jos kompressoreita on enemmän kuin kaksi, tulisi kaskadisäädöt sen vuoksi korvata muunlaisilla säädöillä.

2. Paineakaistasäätö

Kaskadisäädöstä poiketen paineakaistasäätö (kuva 1, sarake 2) tarjoaa mahdollisuuden koordinoida useamman kompressorin käynnin tietyllä painealueella. Sen avulla painealue, jonka sisällä koko paineil-

ma-asemaa halutaan säätää, voidaan rajata suhteellisen kapeaksi.

2. a) Yksinkertainen paineakaistasäätö

Paineakaistasäädön yksinkertaiset versiot eivät kuitenkaan kykene koordinoimaan erikokoisten kompressorien käyntiä. Sen vuoksi ne eivät vastaa huippukuormitukselle asetettuja vaatimuksia paineilmaverkostoissa, joiden on jatkuvasti sopeuduttava vaihtelevaan paineilmatarpeeseen.

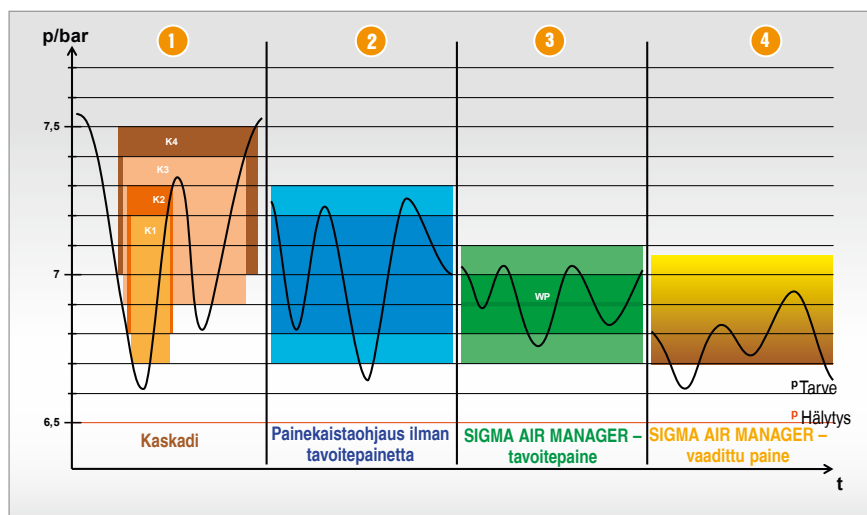
Tämän johdosta tätä menetelmää on täydennetty järjestelmällä, joka – paineen putoamis- ja kohoamisaikoihin orientoituen – pyrkii ohjaamaan kulloinkin sopivaa kompressoria ja siten kattamaan paineilman huippukuormitustarpeen. Tämänkaltaisen säätö vaatii kuitenkin suhteellisen laajan paineakaistan hajonnan (kuva 2). Kaskadisäädön tavoin kompressorien ja paineilmaverkoston reaktioita ei myöskään huomioida, minkä seurauksena alhaisin mahdollinen paineraja alittuu. Sen vuoksi vaaditun minimipaineen ja säädön alhaisimman kytkentäpaineen välille on jätettävä turvaväli.

2. b) Tavoitepaineeseen orientoituvaa paineakaistasäätö

Tavoitepaineeseen orientoituvaa paineakaistasäätö (kuva 1, sarake 3) toi mukanaan ratkaisevan parannuksen. Se pyrkii ylläpitämään tietyn esiasetetun tavoitepaineen ja voi paineilman kulutuksen mukaan ohjata erikokoisia kompressoreita. Tämän säätövaihtoehdon erityinen etu on siitä, että sen avulla paineilmajärjestelmän keskimääräistä käyttöpainetta voidaan selvästi alentaa ja siten säästää tuntuvasti energiaa ja kustannuksia.

3. Vaadittuun paineeseen perustuva säätö

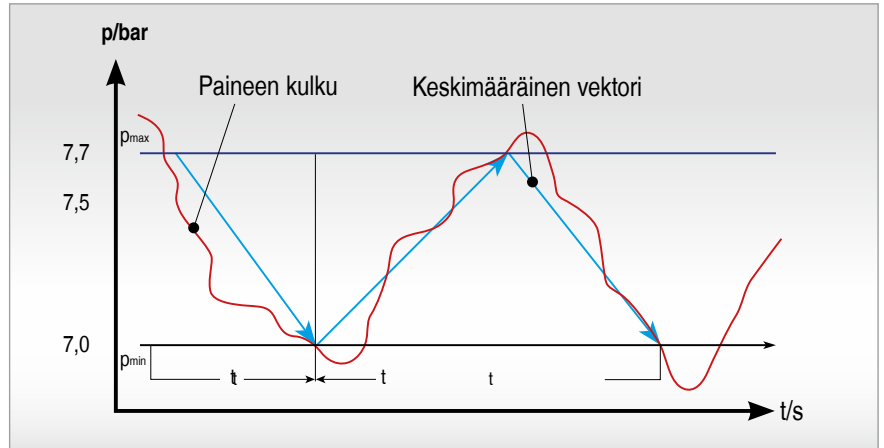
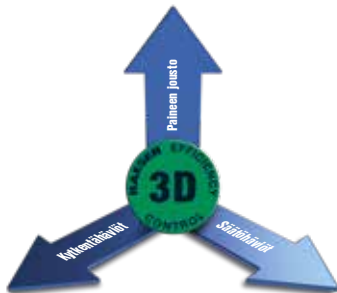
Vaadittuun paineeseen perustuva säätö (kuva 1, sarake 4) tarjoaa tällä hetkellä säätötekniisesti pisimmälle kehittyneen vaihtoehdon. Tässä vaihtoehdossa



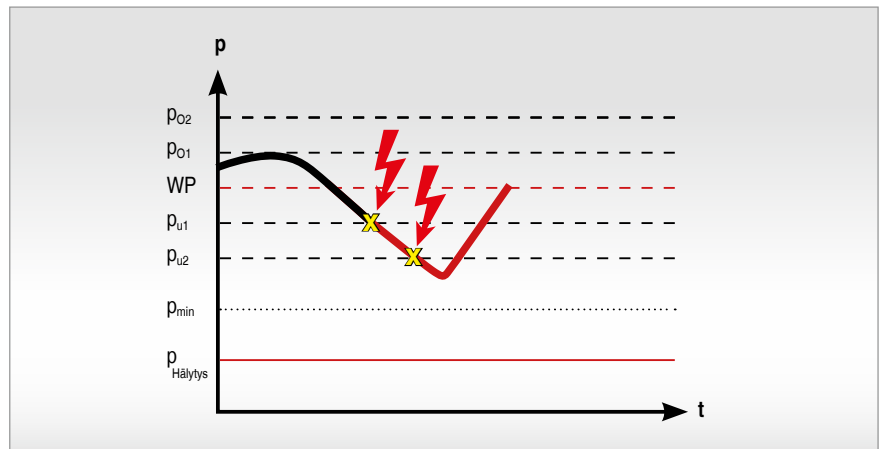
Kuva 1: Pääohjausjärjestelmien eri variaatioita

ei enää määritellä minimi- ja maksimipainerajoja, ainoastaan alhaisin mahdollinen käyttöpaine, joka paineanturin mittauspisteessä ei saa alittua (**kuva 3**). Sääto optimoi kytkennät ja kompressorien valinnan ottaen huomioon kaikki mahdolliset häviöt, joita käynnistys-, reaktio- ja kevennyskäyntiajat sekä paineen korotus ja yksittäisten laitteiden kierrosluvun säätö aiheuttavat. Järjestelmä tunnistaa yksittäiset reaktioajat ja kykenee sen ansiosta estämään, että alhaisin mahdollinen vaadittu paine alittuu (**kuva 4**).

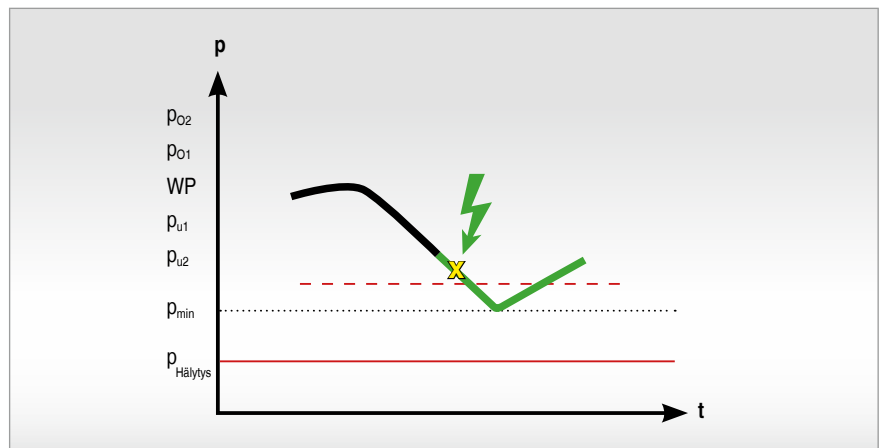
Tätä uudenlaista 3D^{advanced}-säättöä käytetään SIGMA AIR MANAGER 4.0 -pääohjausjärjestelmässä. Sen avulla energiankulutusta on tavoitearvon perusteella ohjautuvaan painekais-tasäätöön verrattuna voitu alentaa entisestään. Samalla estetään määritellyn painetason alittuminen. Käyttäjä voi myös hämmästyttävän helposti itse tehdä vaadittuun paineeseen perustuvan säädön asetukset.



Kuva 2: Optimaalinen paine asetetaan kaikki säätötekniset häviöt huomioiden



Kuva 3: Vaadittuun paineeseen perustuvassa säädössä ei enää määritellä minimi- ja maksimipainerajoja



Kuva 4: Järjestelmä estää esiasetetun vaaditun minimipaineen alittumisen

Energiaa säästävää lämmön talteenotto

Energia kallistuu jatkuvasti. Energiasurssien säästeliäs käyttö ei ole vain ekologinen vaan lisääntyvässä määrin myös taloudellinen välttämättömyys. Kompressorivalmistajat tarjoavat tähän monia mahdollisuuksia. Yksi vaihtoehto on ruuvikompressorien synnyttämän lämmön talteenotto.

1. Kompressorit synnyttävät ensisijaisesti lämpöä

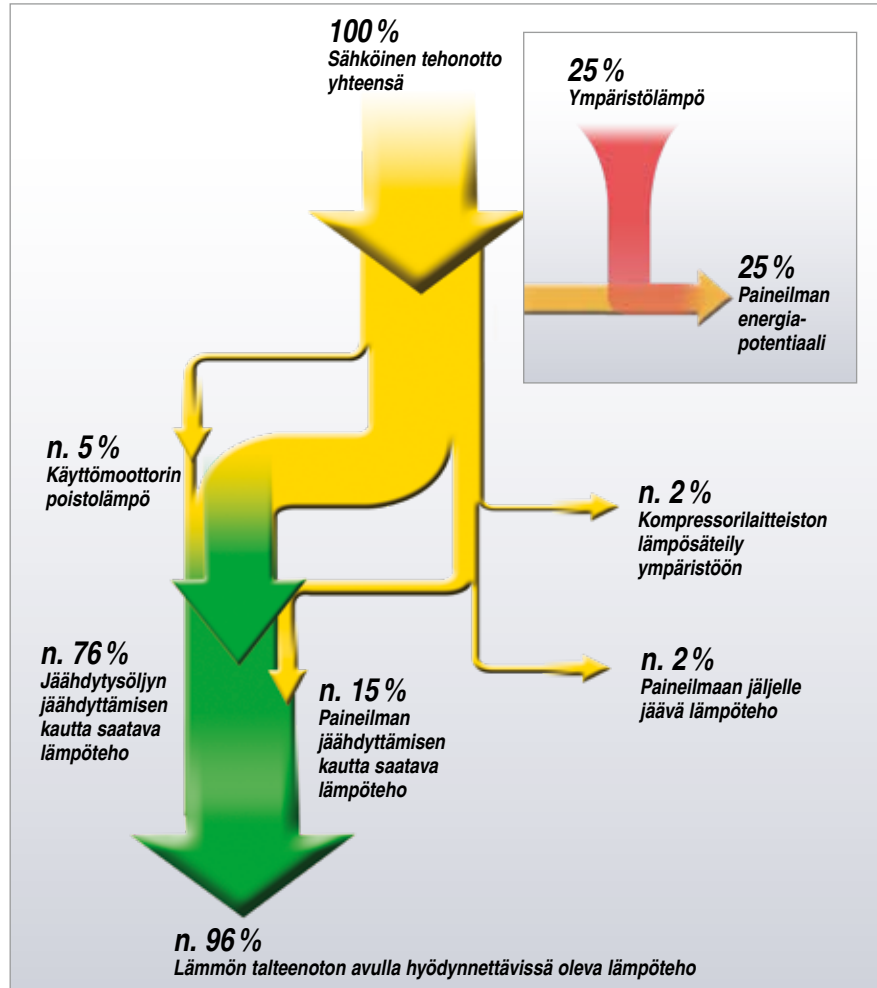
Tosiasia on, että 100 % kompressorin syötetystä energiasta muuttuu lämmöksi. Puristuksen myötä ilmaan muodostuu kompressorissa energiapotentiaali (kuva 1). Vastaava energiamäärä voidaan hyödyntää puristetun paineilman laajentuessa ja jäähtyessä. Samalla purkautuva paineilma sitoo itseensä lämpöä ympäristöstä.

2. Lämmön talteenotto-mahdollisuuksia

Käyttäjät, jotka ovat kiinnostuneita käyttämään paineilmaa entistä taloudellisemmin, voivat valita useamman talteenottovaihtoehdon välillä:

a) Lämmenneen jäähdytysilman käyttö lämmitykseen

Yksinkertaisin lämmön talteenottotapa ilma- ja öljy-/jäähdytysnestejäähdytteisten ruuvikompressorien kohdalla on hyödyntää kompressorin lämmittämää jäähdytysilmaa suoraan. Tällöin poistolämpö ohjataan ilmanavajärjestelmän kautta suoraan lämmitettäviin tiloihin. Lämmintä ilmaa voidaan luonnollisesti käyttää myös muissa kohteissa kuten esimerkiksi kuivausprosesseissa, tuulikaappien ja oviaukkojen lämmityksessä tai polttoilman esilämmityksessä. Kun lämmintä ilmaa ei tarvita, johdetaan poistoilmavirta ulos käännettävän läpän tai säleikön kautta. Säleikön termostaattiohjaus mahdollistaa lämpimän ilman annostelun niin tarkkaan, että lämmityskohteessa voidaan ylläpitää tasaista lämpötilaa.



Kuva 1: Lämmönvirtauskaavio

Tällä tavoin voidaan hyödyntää 96 % ruuvikompressorin sähköisestä tehonotosta. Se voi olla kannattavaa myös pienten laitteiden kohdalla, sillä jo 7,5 kW:n kompressorin poistolämpö riittää vaivatta omakotitalon lämmittämiseen.

b) Vesikeskuslämmitys

Sekä ilma- että vesijäähdytteisten ruuvikompressorien kohdalla on mahdollista tuottaa lämmintä vettä eri tarkoituksiin asentamalla lämmönvaihdin jäähdytysjärjestelmään. Kysymykseen tulevat levylämmönvaihtimet tai välipiirillä

Kuva 2: Asianmukaisesti toteutettu kompressorien kytkentä lämmön talteenottojärjestelmään



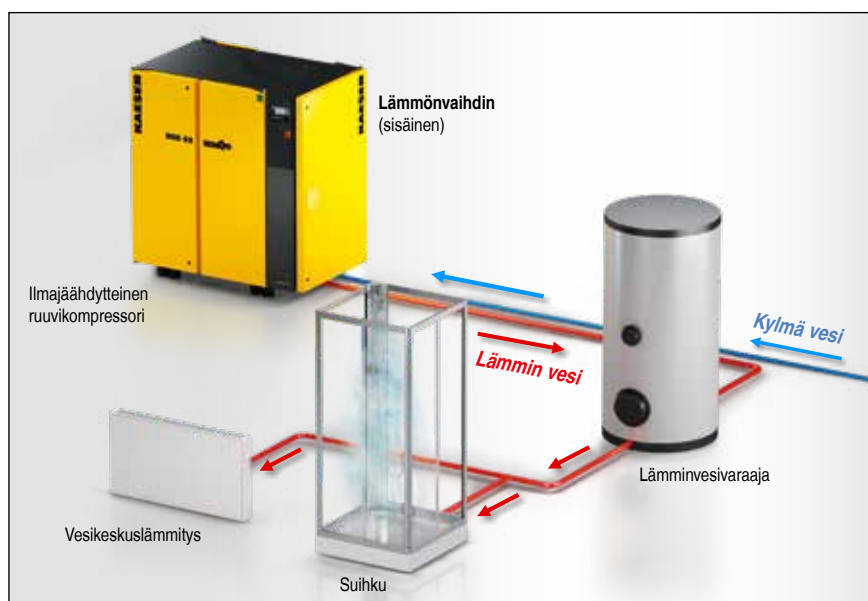
varustetut turvalämmönvaihtimet riippuen siitä, onko lämmin vesi tarkoitus käyttää lämmitykseen, peseytymiseen vai tuotanto- ja puhdistusprosesseihin. Näiden lämmönvaihtinten avulla on mahdollista tuottaa lämmintä vettä enintään +70 °C:seen saakka. Koke-muksemme mukaan 7,5 kW:n ja sitä suurempien kompressorien kohdalla tämän vaihtoehdon vaatimat lisä-kustannukset maksavat itsensä takaisin kahden vuoden sisällä edellyttäen, että suunnittelu on tehty oikein.

3. Turvallisuuskäsitteet huomioitava

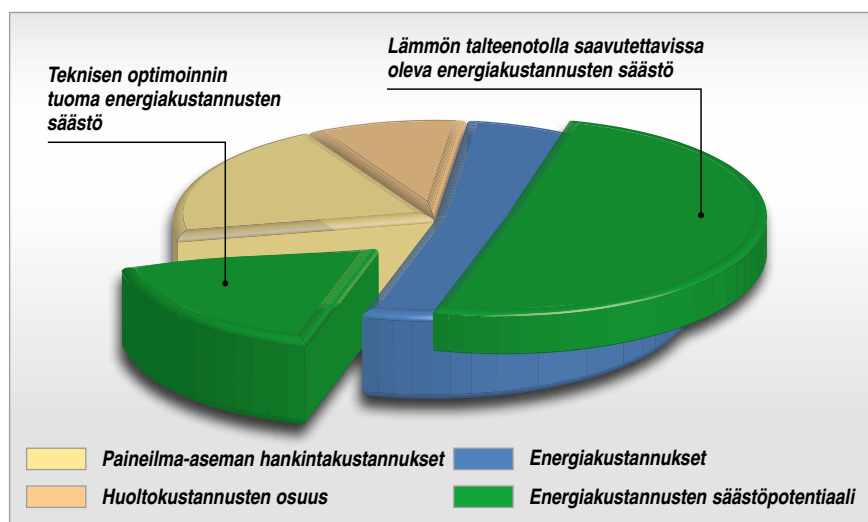
Tavallisesti kompressorin ensisijaista jäähdytysjärjestelmää ei tulisi koskaan samanaikaisesti käyttää lämmön talteenottojärjestelmänä. Lämmön talteenoton mahdollinen toimintahäiriö vaarantaisi myös kompressorin jäähdytyksen ja siten paineilmatuotannon. Sen vuoksi kompressorin tulee asentaa erityiset lämmönvaihtimet lämmön talteenottoa varten, jolloin kompressorin voi häiriötapauksessa itse huolehtia turvallisesta jäähdytyksestä: jos lämpö ei poistu talteenottojärjestelmän lämmönvaihtinten kautta, kytkeytyy kompressorin ensisijaiselle ilma- tai vesi-jäähdytykselle. Näin paineilmatuotanto on edelleen turvattu (kuvat 2 ja 3).

4. Hyödynnettävää energiaa jopa 96 %

Suurin osa eli 76 % käytetystä ja lämpönä hyödynnettävästä energiasta löytyy öljy-/jäähdytysnestejäähdytteisissä kompressoreissa niiden jäähdytykseen käytetystä väliaineesta, 15 % paineilma- ja jopa 5 % sähkömoottorin lämpöhäviöstä. Täysin koteloituissa öljy-/jäähdytysnestejäähdytteisissä ruuvikompressoreissa jopa sähkömoottorin energiahäviö voidaan hyödyntää lämpöenergiana tarkoin kohdistetun jäähdytyksen avulla. Kompressorin vaatimasta energiasta voidaan siis yhteensä 96 % hyödyntää ter-



Kuva 3: Lämmön talteenoton kaavio



Kuva 4: Lämmön talteenottoon sisältyvä merkittävä energiakustannusten säästöpotentiaali

misesti. Vain 2 % energiasta häviää lämpösäteilynä ja 2 % lämmöstä jää paineilmaan (kuva 1).

5. Yhteenveto

Lämmön talteenotto on harkitsemisen arvoinen mahdollisuus parantaa paineilmalaitteiston taloudellisuutta ja samalla keventää ympäristörasitusta. Järjestelmän edellyttämät lisäinves-

toinnit ja -järjestelyt ovat suhteellisen vähäiset. Investointien suuruus riippuu käyttökohteesta vallitsevista olosuh-teista, käyttötarkoituksesta ja valitusta talteenottomenetelmästä (kuva 4).

Uuden paineilmaverkoston suunnittelu

Paineilma on taloudellinen energianvälittäjä etenkin silloin, kun sekä sen tuotanto, jälkikäsittely että jakelu on sovitettu mahdollisimman hyvin yhteen. Tähän sisältyvät varsinaisen paineilma-aseman oikean suunnittelun ja toteutuksen lisäksi myös paineilmaverkoston oikea mitoitus ja asennus.

1. Taloudellinen paineilmatuotanto

Paineilmakuutun hintaa määriteltäessä on huomioitava niin energiasta, jäähdytysaineista, huollosta kuin kompressorin kuoletuksestakin aiheutuvat kustannukset. Hintaan vaikuttavat myös kompressorin koko, kuormitus- ja huoltoaste sekä rakenne. Siksi paineilman taloudellisuus on monelle yritykselle tärkeä tekijä. Tähän perustuu myös jäähdytysneste-/öljyjäähdytteisten ruuvikompressorien suosio: paineilman tuottaminen on niiden avulla jopa 20 % edullisempaa.

2. Jälkikäsittely vaikuttaa paineilmaverkostoon

Vähemmän sen sijaan kiinnitetään huomiota tarpeita vastaavaan paineilman jälkikäsittelyyn. Tämä on valitettavaa, sillä vain hyvin jälkikäsittely paineilma pitää paineilmaa vaativien laitteiden ja putkiverkoston huoltokustannukset alhaisina. Kohteissa, joissa putkijohtojen läpi virtaa kosteata, vielä kuivaamatonta paineilmaa, on putkijohtojen ehdottomasti oltava korroosionkestävästä materiaalista. Muilta osin on varmistettava, että puutteelliset putkijohdot eivät uudelleen heikennä jälkikäsittelyjärjestelmällä jo kerran saavutettua paineilmalatua.

a) Jäähdytyskuivaimet alentavat huollon tarvetta

Noin 80 %:ssa kaikista käyttökohteista jälkikäsittelyyn riittää jäähdytyskuivain. Sen ansiosta putkistossa ei tarvita erillisiä, painehäviöitä aiheuttavia suodattimia, ja sen energiakustannuksetkin

ovat vain noin 3 % niistä energiakustannuksista, jotka kompressorin aiheuttaa tuottaessaan sen kuivaaman paineilman määrän. Tämän lisäksi putkisto ja paineilmaa kuluttavat laitteet vaativat vähemmän huoltoa ja korjauksia. Näin saavutettu kustannussäästö ylittää jopa kymmenkertaisesti jäähdytyskuivatuksen kulut.

b) Tilaa säästävät yhdistelmälaitteet

Pienempiä yrityksiä tai hajautettuja paineilmajärjestelmiä varten markkinoilta löytyy myös tilaa säästäviä yhdistelmiä, jotka muodostuvat ruuvikompressorista, jäähdytyskuivaimesta ja paineilmasäiliöstä (kuva 1).

3. Uuden paineilmaverkoston suunnittelu ja asennus

Uutta paineilmaverkostoa suunniteltaessa on päätettävä, halutaanko järjestelmästä keskitetty vai hajautettu. Keskitetty paineilmajärjestelmä soveltuu useimmille pienille ja keskisuurille yrityksille. Niissä ei yleensä esiinny niitä ongelmia, joita laajalle alueelle ulottuva keskitetty paineilmajärjestelmä saattaa aiheuttaa: korkeat asennuskustannukset, riittämättömästi eristettyjen

ulkojohtojen jäätymisvaara talvella ja painehäviöt pitkissä johdoissa.

a) Verkoston oikea mitoitus

Paineilmaverkoston mitoituksen tulisi aina perustua laskelmaan. Sen lähtökohdaksi otetaan maks. 1 baarin paineenpudotus kompressorin ja paineilman käyttökohteen välillä. Tähän sisältyvät kompressorien kytkentä- ja katkaisupaineiden väliset erot ja paineilman vakiokäsittely (jäähdytyskuivaus).

Lähtökohdaksi otetaan seuraavat painehäviöt (kuva 2):

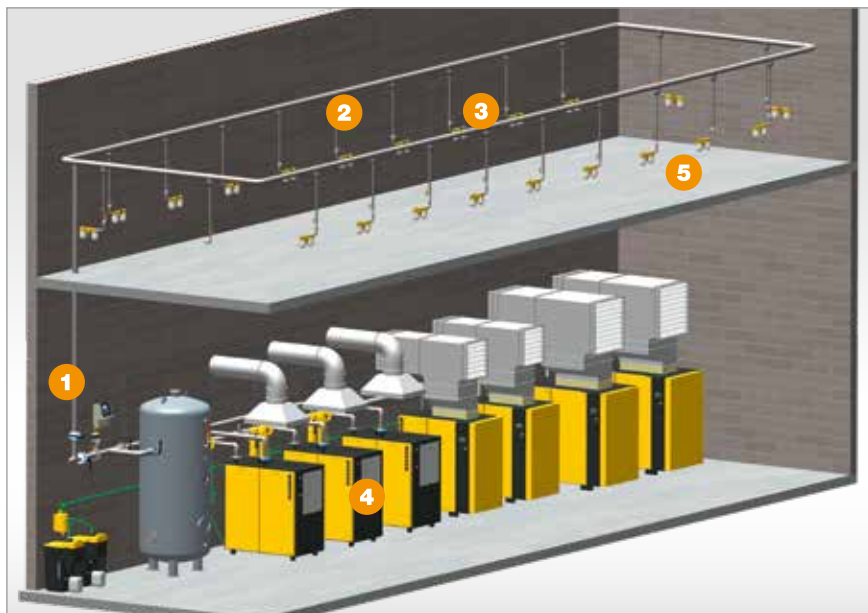
1 Runkojohto	0,03 bar
2 Jakelujohto	0,03 bar
3 Liitäntäjohto	0,04 bar
4 Kuivain	0,20 bar
5 Huoltoyksikkö ja letku	0,50 bar
Yhteensä maks.	0,80 bar

Esimerkki osoittaa, kuinka tärkeää on laskea painehäviöt johtojen eri osissa. Myös muoto-osat ja sulkuventtiilit on muistettava ottaa huomioon. Ei riitä, että suorat putkimetrit sijoitetaan laskukaavaan tai -taulukon. Ensin on selvitettävä putkijohtojen virtaustekninen pituus. Kaikki muotokappaleet ja sulkulaitteet eivät kuitenkaan aina ole tiedossa suunnittelun alkuvaiheessa. Sen vuoksi putkiston virtausteknistä pituutta laskettaessa vaadittavat suorat putkimetrit kerrotaan kertoimella 1,6. Putkien läpimitat on sen jälkeen helppo selvittää laskukaavojen (kuva 3) tai laskentakaavioiden (liite 1, sivu 54) avulla.

Mitoituksessa voidaan myös hyödyntää kotisivuiltamme löytyviä laskimia (<https://fi.kaeser.com/palvelut/tietoa/laskimet/>).



Kuva 1: Moderni AIRCENTER-paineilma-asema tuottaa, jälkikäsittelee ja varastoi paineilman kompaktisti tilaa säästäen



Kuva 2: Paineilman jakelujärjestelmän pääkomponentit: runkojohto (1), jakelujohto (2), liitäntäjohto (3), kuivain (4), huoltoyksikkö/letku (5)

Likiarvokaava:

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

d_i = putken sisäläpimitta (m)
 p_s = absoluuttinen järjestelmäpaine (Pa)
 L = nimellispituus (m)
 V = tilavuusvirta (m³/s)
 Δp = painehäviö (Pa)

Kuva 3: Likiarvokaava putkijohtojen läpimitan määrittämiseksi

b) Energiaa säästävä putkitus

Energian säästämiseksi putkiston on oltava mahdollisimman suora. Mutkat esteiden (esim. tukipilarien) ohittamiseksi voidaan välttää vetämällä putkijohto suorassa linjassa esteen vierestä. Terävät, suuria painehäviöitä aiheuttavat 90 asteen kulmat voidaan myös välttää käyttämällä niiden sijasta laajoja 90 asteen kaaria. Sulku-laitteina tulisi käyttää täysaukkoisia pallo- tai läppäventtiilejä. Paineilma-verkoston niissä osissa, joissa virtaa

kuivaamatonta paineilmaa (nykyaikaisissa paineilmajärjestelmissä ainoastaan kompressorihuoneessa), on runkojohtoon johtavat ja siitä erkanevat sivujohtot suunnattava ylöspäin (ns. joutsenkaula) tai ainakin sivulle. Pääputkijohdossa tulisi olla kahden promillen kaltevuus. Tämän johdon alimpaan kohtaan on asennettava lauhteenpoistin. Lauhteenpoiston jälkeen johdot voidaan asentaa vaakasuoraan ja pääjohdosta erkanevat johdot voivat johtaa myös alaspäin.

c) Mikä on paras putkimateriaali?

Materiaalien ominaisuuksien suhteen on vaikea antaa yleispätevää suositusta. Suuren lämpökuormituksen vuoksi kompressoreissa tulisi kuitenkin aina käyttää metallijohtoja. Hankintahinnastakaan ei ole helpotamaan päätöksentekoa: sinkityt, kupari- tai muoviputket ovat jotakuinkin yhtä kalliita, kun huomioidaan sekä materiaali- että asennuskustannukset. Jaloteräsputket ovat noin 20 % kalliimpia. Tehokkaammilla työstöme-

netelmillä niidenkin hintaa on onnistuttu alentamaan.

Useilla valmistajilla on käytössään taulukoita, joista käyvät ilmi jokaiselle putkimateriaalille optimaaliset olosuhteet. Ennen investointipäätöksen tekoa on suositeltavaa tutustua näihin taulukoihin huolellisesti, huomioida tulevassa tuotannossa esiintyvät rasisutuskijät ja tehdä sen jälkeen yhteenveto niistä vaatimuksista, jotka putkijohtojen tulee täyttää. Vain näin voidaan tehdä oikea valinta.

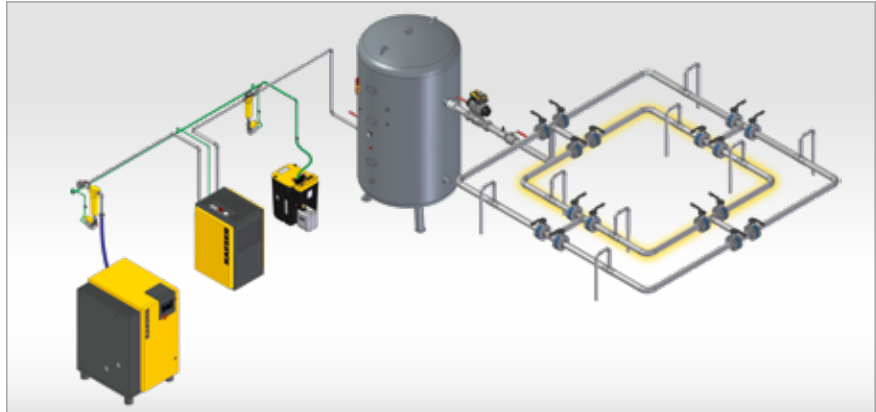
d) Tärkeätä: oikea liitäntäteknikka

Putkijohtojen osat tulisi liittää toisiinsa joko hitsaamalla tai liimaamalla tai ruuvaamalla ja liimaamalla. Vaikka osien irrottaminen toisistaan vaikeutuukin, voidaan kuitenkin olla varmoja siitä, että vuodot on minimoitu.

Kappale 10

Paineilmaverkoston saneeraus

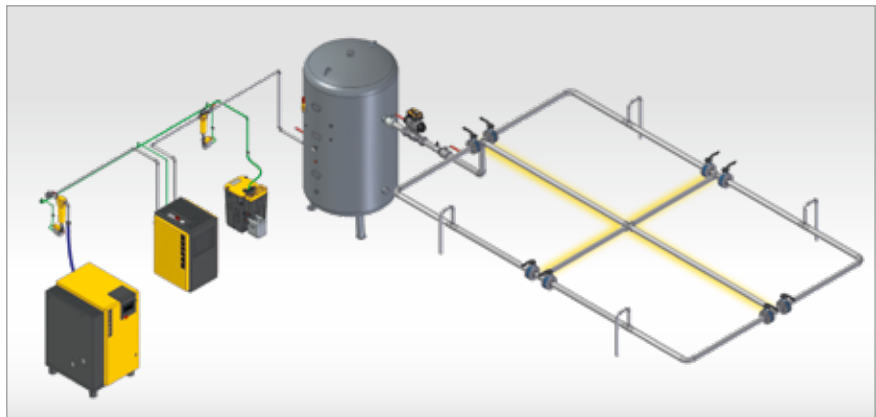
Vuodesta toiseen monissa yrityksissä haihtuu tuhansia euroja sanan varsinaisessa merkityksessä ilmaan. Syy löytyy vanhentuneesta ja/tai puutteellisesti huolletusta putkistoverkosta, joka nostaa paineilmajärjestelmän energiantarpeen huippuunsa. Jos tästä rahareiästä halutaan eroon, on huolella harkittava, mistä aloittaa. Seuraavassa annetaan hyödyllisiä ohjeita, kuinka paineilmaverkosto saneerataan oikein.



Kuva 1: Paineilmajohdon saneeraus toisen rengasjohdon avulla

1. Perusedellytys: kuiva paineilma

Uutta paineilmaverkostoa suunniteltaessa monet virheet ja niiden johdosta myöhemmin syntyvät vaikeudet voidaan jo alun alkaen välttää. Vanhan verkoston saneeraukseen sen sijaan liittyy monia ongelmia. Varsinkin silloin se on lähes toivoton yritys, jos verkostoon saneerauksen jälkeenkin syötetään kosteaa paineilmaa. Ennen saneeraukseen ryhtymistä on sen vuoksi ehdottomasti varmistettava, että paineilma kuivataan keskitetysti.



Kuva 2: Johtojen kapasiteetin suurentaminen välijojoilla

2. Mikä avuksi, kun painehäviö verkostossa on liian suuri?

Jos verkostossa syntyvät painehäviöt ovat vielä asianmukaisten jälkikäsitteilykomponenttien asennuksenkin jälkeen liian suuria, löytyy syy putkiin muodostuneista saostumista. Ne muodostuvat paineilman mukanaan kuljettamista epäpuhtauksista ja ovat supistaneet virtauksen läpimittaan minimiin.

a) Vaihto vai aukipuhallus?

Jos nämä saostumat ovat jo kovettuneet, auttaa useimmissa tapauksissa vain putkijohtojen vaihto.

Usein virtauksen läpimittaa voidaan kuitenkin laajentaa puhaltamalla johdot auki ja kuivaamalla ne huolellisesti edellyttäen, että saostumat eivät vielä ole supistaneet virtauksen läpimittaa oleellisesti.

b) Täydentävien johtojen asennus

Rinnakkaisjohdon asennus on erittäin hyvä tapa laajentaa liian ahtaiksi käyneitä putkihaaroja. Liian ahtaiksi käyneitä rengasjohtoja voidaan vastavasti täydentää toisella rengasjohdolla (kuva 1).

Jos tällainen kaksoisjohtojärjestelmä on oikein mitoitettu, voidaan päätavoitteen – painehäviöiden tuntuva pienentäminen – lisäksi saavuttaa myös se etu, että paineilman jakelu kokonaisuudessaan parane.

Rengasjohtojen läpivirtausta voidaan myös parantaa laajentamalla jakeluverkostoa välijojoilla (kuva 2).

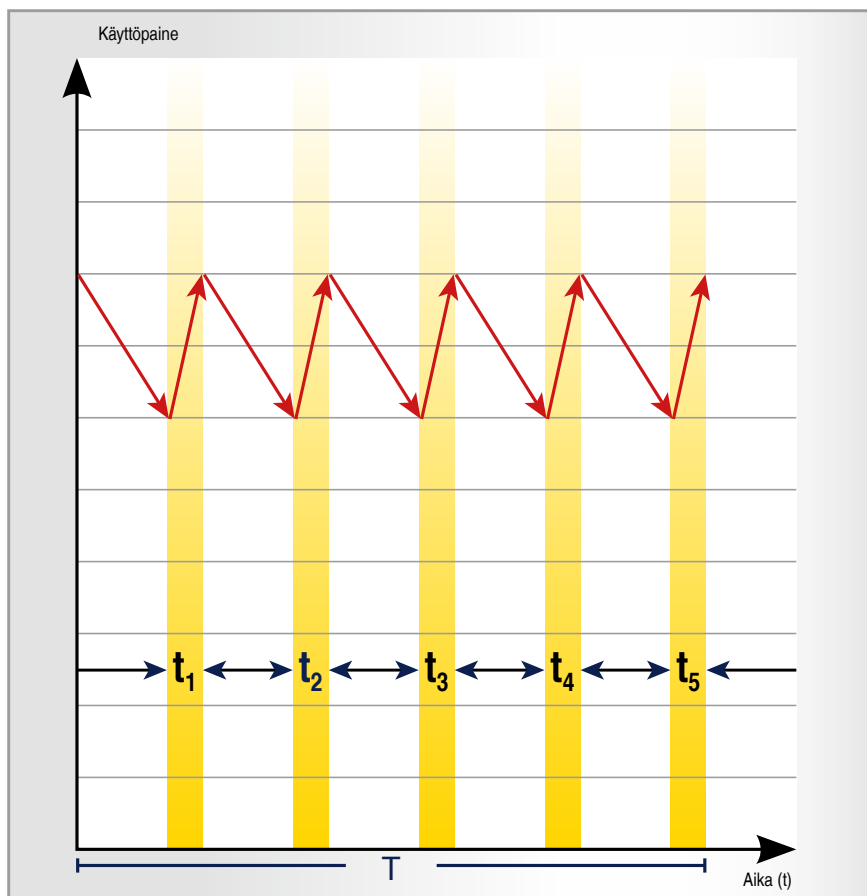
3. Vuotokohtien etsintä ja poisto

Saneeraustoimenpiteet johtavat luonnollisesti vain siinä tapauksessa

optimaaliseen tulokseen, että myös merkittävä osa paineilmaverkoston vuodoista kyetään eliminoidaan.

a) Vuotojen vuoksi menetettävän paineilmamäärän selvittäminen

Ennen kuin yksittäisten vuotokohtien etsiminen aloitetaan, on määriteltävä, kuinka paljon paineilmaa vuotojen vuoksi kokonaisuudessaan menee hukkaan. Tähän on olemassa yksinkertainen menetelmä: Ensimmäiseksi kytketään kaikki paineilmaa vaativat laitteet pois päältä. Tämän jälkeen mitataan kompressorin kuormituskäyntiajat määrätyn aikajakson aikana (kuva 3). Tämän mittauksen perusteella vuotojen vuoksi menetettävä paineilmamäärä voidaan laskea seuraavalla kaavalla:



Kuva 3: Vuodot selvitetään mittaamalla kompressorin kuormituskäyntiajat paineilmatyökalujen ollessa irtikytettyinä

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

Lyhenteet:

VL = vuotojen johdosta hukkaan kuluva paineilma (m³/min)

VK = kompressorin tilavuusvirta (m³/min)

$\sum t_x$ = $t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$
Aika, jonka kompressorikävi kuormituskäynnillä (min)

T = kokonaiskäyntiaika (min)

b) Paineilman käyttökohteissa esiintyvien vuotojen selvittäminen

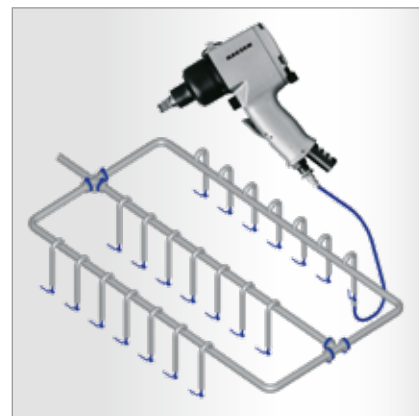
Kun halutaan selvittää häviöt paineilman hajautetuissa käyttökohteissa, on kaikki pneumaattiset työkalut, koneet ja laitteet ensin kytkettävä paineilma-

järjestelmään ja sen jälkeen mitattava vuotojen kokonaismäärä (kuva 4). Tämän jälkeen suljetaan paineilman käyttökohteita edeltävät sulkuventtiilit ja mitataan putkiston vuodot (kuva 5).

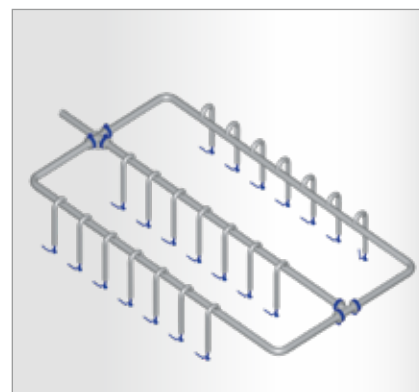
Kokonaisvuodon ja verkostovuodon välinen erotus ilmoittaa sen paineilman määrän, joka kuluu hukkaan paineilman käyttökohteissa, paineilmatyökaluissa ja niiden liitännöissä.

4. Mitkä kohdat vuotavat eniten?

Kokemusten perusteella voidaan todeta, että noin 70% vuodoista löytyy paineilmanverkoston viimeisiltä metreiltä ja työkalujen liitännäkohdista. Nämä vuodot voidaan tarkalleen paikantaa saippualliuoksen tai erikoissumutteen avulla.



Kuva 4: Paineilmatyökalujen ja verkoston vuotomittaus



Kuva 5: Verkoston vuotomittaus

avulla. Pääputkijohdoissa on tavallisesti vain siinä tapauksessa lukuisia suurempia vuotokohtia, että esimerkiksi alun perin kosteaa paineilmanverkkoa, jonka asennuksessa on käytetty hampua tiivistysmateriaalina, käytetään nyt kuivan paineilman jakeluun, ja hampuu on ajan mittaan kuivunut. Pääputkijohdoissa olevien vuotojen paikantamiseksi suosittelemme ulträänilaitteen käyttöä. Kun kaikki vuotokohdat on paikannettu ja poistettu ja putkijohtojen läpimitta vastaa jälleen paineilmanjakeluun, on vanhasta paineilmanverkosta taas saatu taloudellinen paineilman jakelujärjestelmä.

Paineilmatarpeen kartoittava ADA-analyysi: nykytilan kartoitus

Nykyaikaiset paineilma-asetat ovat useimmiten monista osista koostuvia järjestelmiä. Niiden käyttö on todella taloudellista vain siinä tapauksessa, että tämä huomioidaan riittävästi kompressoriasemaa suunniteltaessa, laajennettaessa ja nykyaikaistettaessa. Tähän KAESERilla on tarjottavanaan kattava palvelukonsepti, joka sisältää sekä perinteiset paineilmakomponentit, asiakasneuvonnan ja -palvelun että uusien, informaatioteknologian mukanaan tuomien mahdollisuuksien hyödyntämisen paineilmatekniikassa.

Paineilman käyttäjien skaala kattaa kaikki alat autonvalmistajista öljynjalostamoihin. Jotta paineilmaa voitaisiin kaikilla eri aloilla käyttää tehokkaasti, on sen tuotanto- ja jälkikäsittelytekniikan toimittava ehdottoman luotettavasti. Sen on tuotettava paineilmaa edullisesti juuri halutussa määrin ja halutun laatuksena.

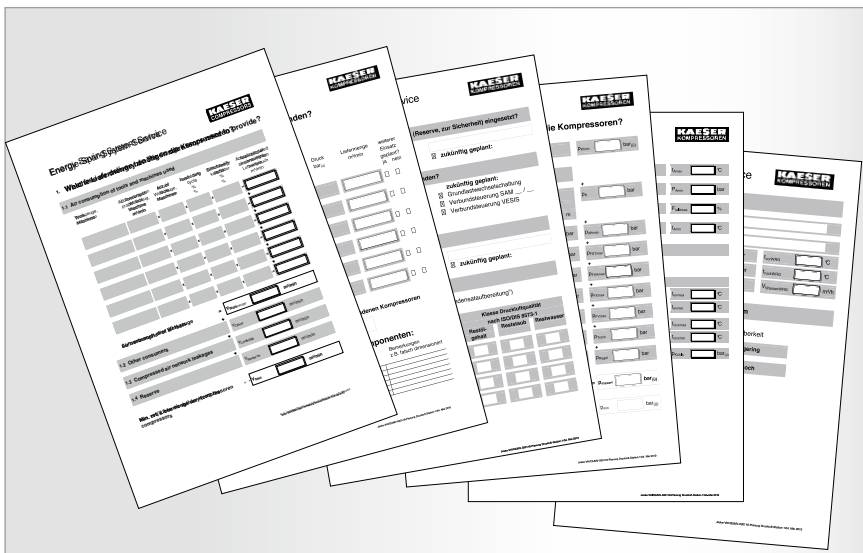
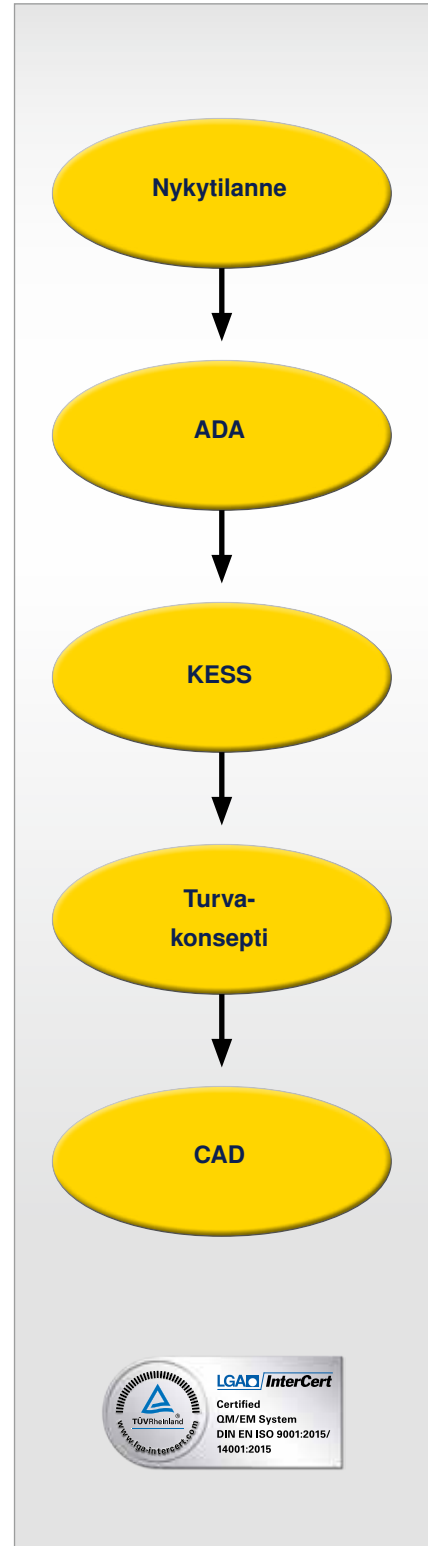
1. Neuvonta ratkaisee taloudellisuuden

Nämä vaatimukset täyttävän paineil-

majärjestelmän täytyy olla täsmälleen käyttötarkoituksen, ympäristön ja käyttöolosuhteiden mukaisesti suunniteltu. Tämä tarkoittaa, että kompressorien, jälkikäsittelylaitteiden ja putkijohtojen täytyy olla oikein mitoitetut, ohjauksen on oltava tehokas, ilmastointitekniikan ja lauhteenkäsittelyn on oltava tarkoituksenmukaiset ja, mikäli mahdollista, paineilmajärjestelmään tulisi sisältyä poistolämmön hyödyntävä lämmön talteenottojärjestelmä. KAESERin tarjoama KESS-energian-säästöjärjestelmä (KAESER Energy Saving System) huomioi kaikki nämä näkökohdat: siihen sisältyvät paineilmatarpeen kartoittava analyysi, suunnittelu (kuva 1), toteutus, koulutus ja asiakaspalvelu. Ratkaisevia seikkoja ovat neuvonnan laatu ja oikean tekniikan valinta, sillä suurin kustannustensäästöpotentiaali löytyy energiankulutuksesta ja huollosta eikä suinkaan hankintakustannuksista.

2. Paineilma-analyysi

Jokaisen KESS-neuvonnan lähtökohta on tämänhetkisen ja tulevan paineilmatarpeen kartoitus. KAESERin



Kuva 2: Kyselykaavake paineilma-asetan uusien ja vanhojen laitteiden kartoittamiseksi (ks. myös liitteet sivulta 56 alkaen)

Kuva 1: KAESERin analyysijärjestelmä

Paineilmatarpeen kartoittava ADA-analyysi: nykytilan kartoitus

e) Järjestelmän ohjaus ja valvonta

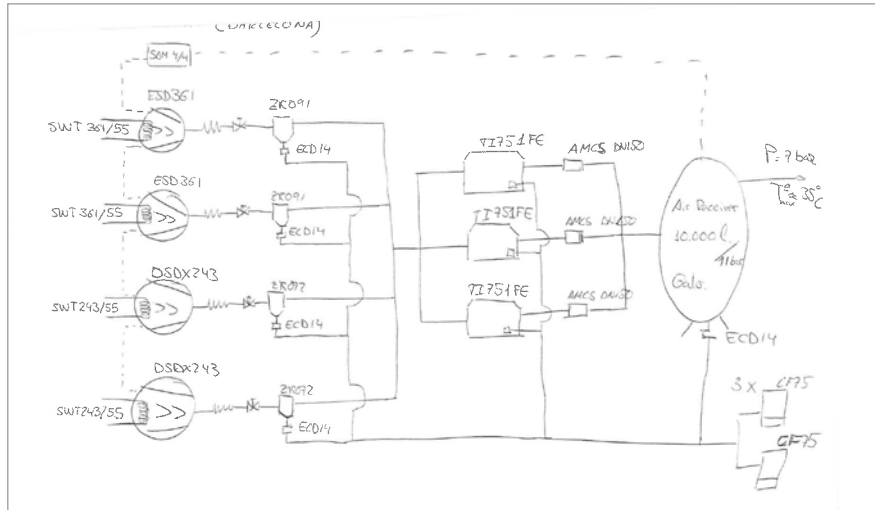
Yksittäisten kompressorien ominaisuuksien ohella ennen kaikkea kompressorien yhteensopivuus vaikuttaa oleellisesti paineilma-aseman taloudellisuuteen. Sen vuoksi myös ohjaus- ja valvontatekniikan kuvaus on tarpeen.

4. Käyttäjän ja paineilma-asiantuntijan välinen keskustelu

Käyttäjän kokoamat tiedot käydään läpi alustavassa keskustelussa paineilma-asiantuntijan kanssa. Samalla voidaan käsitellä paineilmatuotannon ongelmat. Näitä voivat olla esimerkiksi liian alhainen tai heilahteleva painetaso, heikko paineilman laatu, kompressorien huono käyttöaste tai jäähdytysongelmat.

5. Tutustuminen paineilmajärjestelmään

Havainnollisin tiedonsaantitapa on tutustuminen paineilmajärjestelmään paikan päällä. On suositeltavaa aloittaa kriittisimmältä vyöhykkeeltä, missä esimerkiksi on odotettavissa paineen voimakasta heikkenemistä (kuva 5) tai ongelmia paineilman laadussa. Kokeusten perusteella tämä tapahtuu



Kuva 4: Erään paineilma-aseman virtauskaavion hahmotelma

useimmiten paineilmaa vaativien laitteiden ja työkalujen liitäntäkohdissa.

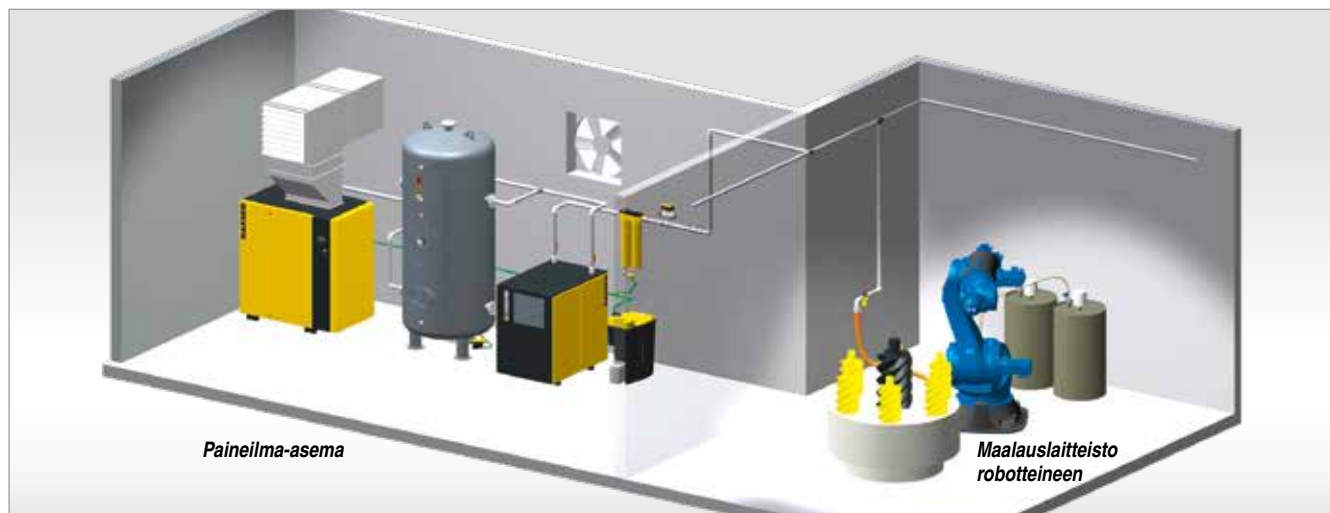
a) Liitäntäletkut, paineenalentimet, vedenerottimet

Etenkin paineilmatyökaluihin johtavien letkujen liitoskohdat vuotavat usein. Sen vuoksi ne on tarkastettava huolellisesti vaurioiden ja vuotojen varalta. Jos järjestelmässä käytetään paineenalentimia, on myös niiden paineasetukset tarkastettava kuormitusolosuhteissa (kuva 6). Samoin on tarkastettava,

onko paineenalentimia edeltäviin vedenerottimiin kertynyt nestettä ja epäpuhtauksia. Sama pätee kohtisuoraan alaspäin erkaneviin johtoihin (kuva 7).

b) Sulkulaitteet

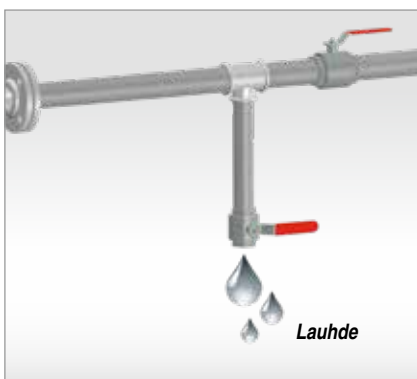
Pääverkostosta erkanevien liitäntäjohtojen kunto vaikuttaa myös merkittävästi järjestelmän tehokkuuteen. Kriittisiä kohtia ovat sulkulaitteet. Siksi onkin tarkastettava, onko järjestelmässä virtausteknisesti edullisia, täysaukkoisia



Kuva 5: Tärkeätä: tutustuminen paineilmajärjestelmään paikan päällä



Kuva 6: Huoltoyksikkö, varustettu paineenalentimella



Kuva 7: Paineilman jakeluputkeen kertyneen kosteuden tarkastus

palloventtiilejä tai läppäventtiilejä vai virtausteknisesti epäedullisia veden sulkuventtiilejä ja kulmaventtiilejä.

c) Runkoputkisto

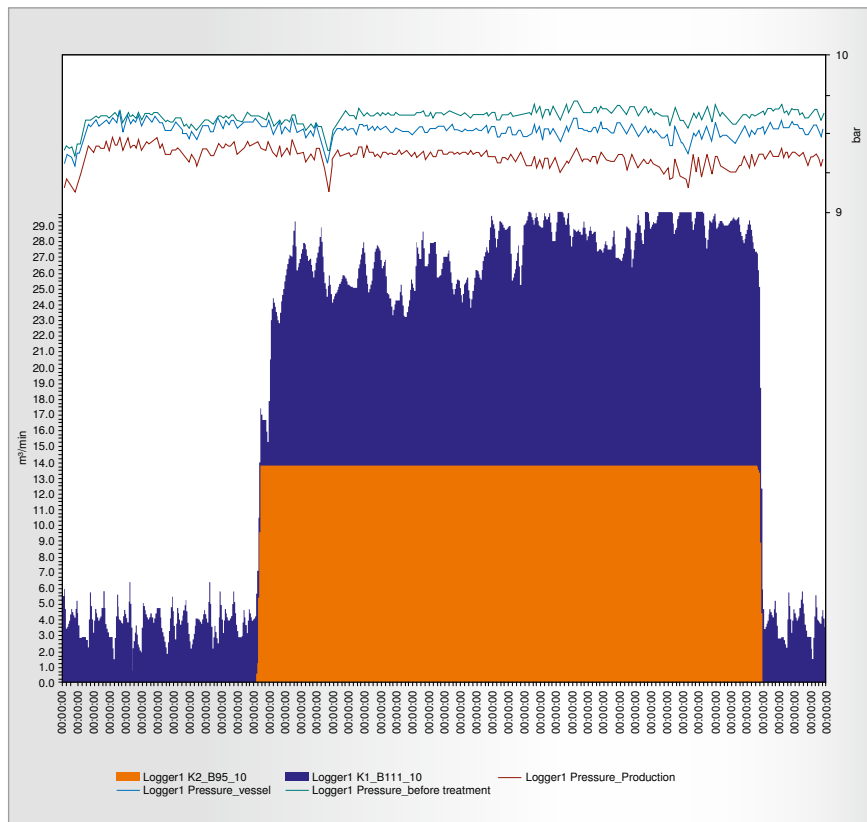
Runkoputkiston kohdalla on tärkeää löytää ahtaumat ja niiden myötä syyt paineen putoamiselle.

d) Paineilman jälkikäsitteilyjärjestelmä

Tässä kohdassa tärkeimmät tarkastuskriteerit ovat saavutettu painekastepiste (kuivuusaste) ja kulloinkin aiheutettu paine-ero. Käyttökohteesta riippuen myös muut laatutarkastukset saattavat olla tarpeen.

e) Paineilma-asema

Myös itse paineilma-asemassa voi olla huomattavia puutteita. Tarastuksen kohteiksi on syytä ottaa



Kuva 8: Eräässä teollisuuslaitoksessa ADA-mittauksella kartoitettu painerakenne ja paineilman kulutus

koneiden sijoitus, ilmanvaihtojärjestelmä, jäähdytys ja putkitus. Tämän lisäksi on tarkastettava kompressorien yhteenlaskettu kytkentäpaineen ero, paineilmasäiliöiden tilavuus ja mittauspiste, josta käsin kompressoreja ohjataan.

f) Mittauspisteiden valinta

Tutustuttuaan paineilmajärjestelmään paikan päällä paineilma-asiantuntija valitsee yhdessä asiakkaan kanssa mittauspisteet kulutusanalyysia varten. Analyysi edellyttää painemittauksia vähintään ennen ja jälkeen paineilman jälkikäsitteilyn sekä paineilman ulostulokohdassa paineilma-verkoston päässä.

6. Paineen ja ilman-kulutuksen mittaus (ADA)

Painetta ja ilmankulutusta mitattaessa paineilma-aseman käyntiä ja koko

paineilmajärjestelmää seurataan vähintään 10 päivän ajan. Tietojenkerauslaitteella kerää kaikki oleelliset mittaustulokset ja siirtää ne tietokoneelle, joka laatii yksikökohtaisen kulutuskaavion. Kaaviosta ovat tunnistettavissa paineen putoamiset, paineen ja kulutuksen vaihtelut, kompressorien suoritusominaisuudet kevennyskäynnillä, kompressorien käynti- ja valmiusajat sekä jokaisen yksittäisen kompressorin teho eri paineilman kulutusalueilla. Kokonaistilanteen hahmottamiseksi mittauksen aikana on selvitettävä myös vuodot. Tämä tapahtuu **kappaleessa 10 (s. 24 alkaen)** kuvatulla tavalla ja edellyttää mm. paineilma-verkoston määrättyjen osien sulkemista viikonlopun ajaksi.

Kuinka löydän taloudellisimman paineilmakonseptin?

Eurooppalaisten teollisuuslaitosten keskimääräisiä paineilmakustannuksia voitaisiin paineilmajärjestelmien johdonmukaisella optimoinnilla alentaa yli 30 %. Suurimman osan eli noin 70–90 % näistä kustannuksista muodostavat energiakustannukset. Hintakehitys huomioiden energiatehokkaimman paineilmakonseptin löytäminen on käyttäjän kannalta entistä tärkeämpää.

KESS-optimointilaskelman (KAESER Energy Saving System) avulla useammasta paineilman tuottamisvaihtoehdosta voidaan nopeasti selvittää kuhunkin käyttökohteeseen parhaiten soveltuva vaihtoehto. Uuden aseman kohdalla laskelma pohjautuu täytettyyn kyselykaavakkeeseen. Jo käytössä olevia paineilma-asemia ajanmukaistettaessa laskelman lähtökohtana toimii ADA-analyysi (Air Demand Analysis), jonka avulla kartoitetaan yritykselle tunnusomainen paineilman kulutus työpäivän aikana (ks. sivu 29, kuva 8).

1. Paineilmatarpeen kartoitus tietokoneen avulla

Paineilma-aseman optimoimiseksi käytössä olevien ja mahdollisten uusien kompressorien tekniset tiedot syötetään tietokoneelle. Näiden tietojen pohjalta KESS laskee optimaalisen vaihtoehdon ja mahdollisuudet kustannusten alentamiseen. Laskelma ei huomioi ainoastaan tietyn suuruisen paineilmakulutuksen aiheuttamaa hetkellistä energiankulutusta ja mahdollisia häviöitä, vaan sen avulla on mahdollista luoda tarkka kuva kompressoriasemalle ominaisesta suorituskäyttäytymisestä koko käyntiajalta (kuva 1). Näin mahdolliset heikkoudet osakuormitusalueella voidaan tunnistaa ja poistaa jo suunnitteluvaiheessa. Laskelman lopputulos antaa selkeän kuvan saavutettavissa olevasta kustannussäästöstä ja kuoletuksesta.

2. Yhdistelmä ratkaisee

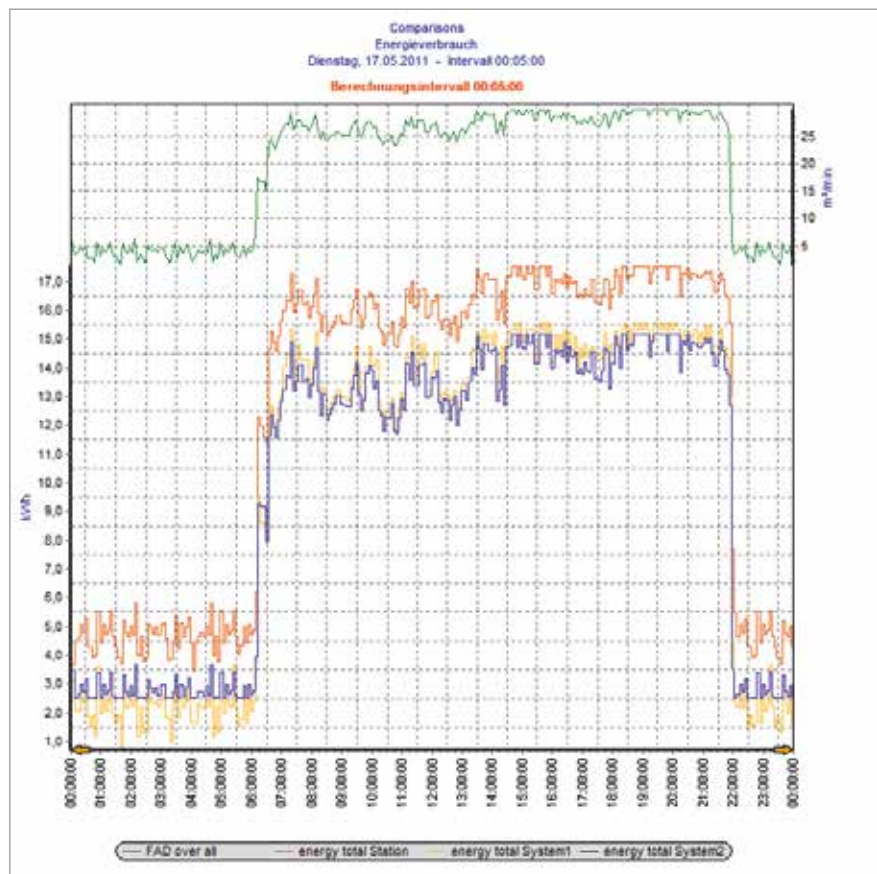
Useimmissa käyttökohteissa eritehoisten kompressorien tarkalleen mitoitettu yhdistelmä on paras ratkaisu. Pääsääntöisesti se muodostuu suurista peruskuormitus- ja varakuormituskoneista, joihin yhdistetään pienempiä huippukuormituskoneita.

Pääohjausjärjestelmän tehtävä on huolehtia siitä, että laitteiden ominaistehontarve on mahdollisimman hyvin tasapainossa. Sen on automaattisesti kyettävä valitsemaan perus- ja huippukuormituskoneiden edullisin yhdistelmä jopa 16 kompressorista vain 0,2 baarin tarkkuudella. Tämän vaatimuksen täyttävät SIGMA AIR MANAGERin kaltaiset älykkäät ohjausjärjestelmät. Väyläjärjestelmän kautta tämä ohjaus-

järjestelmä kykenee vaihtamaan tietoja kompressorien ja muiden paineilmajärjestelmän komponenttien kuten lauhteenpoistinten, kuivainten jne. kesken. Se voidaan myös kytkeä koko tuotantolaitoksen ohjaustekniikkaan, jolloin kaikki käyttötiedot voidaan siirtää sinne.

3. Tilankäytön optimointi

Uutta kompressoriasemaa suunniteltaessa tai vanhaa asemaa modernisoitaessa käytössä oleva tila tulisi hyödyntää optimaalisesti. KAESERin käyttämät nykyaikaiset suunnittelumenetelmät ovat tässä suurena tukena. Niiden avulla voidaan tehdä paljon muutakin kuin perinteisiä pohjapiirustuksia ja PI-kaavioita:

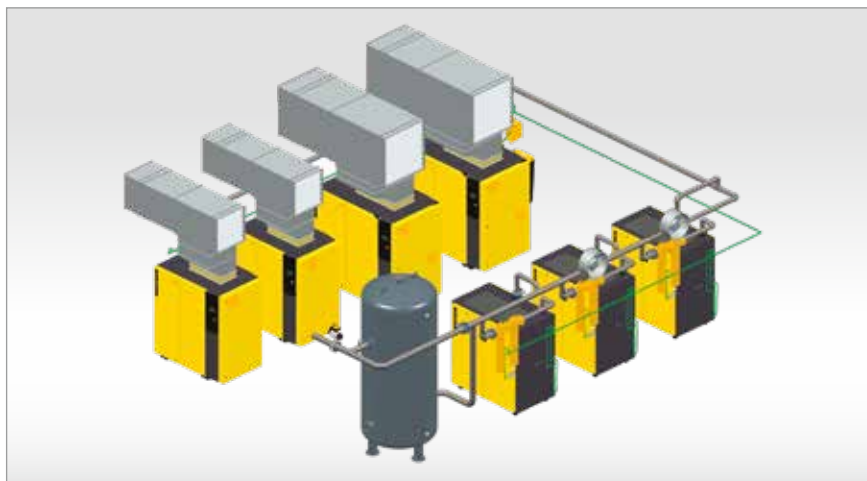


Kuva 1: Vanhan paineilma-aseman energiankulutuksen vertailu yhden käyttöpäivän aikana eri laitteistovaihtoehdoilla

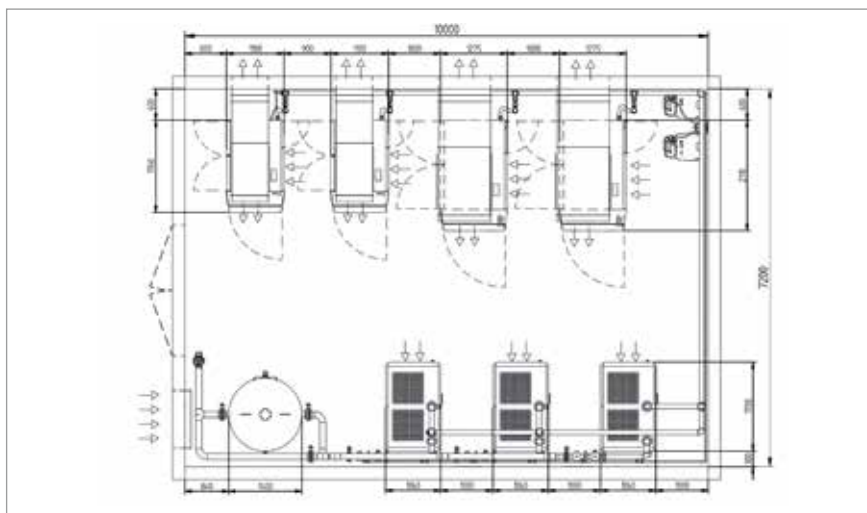
kompressoriasema voidaan esittää kolmiulotteisesti, ja tilojen toimivuus voidaan tietokoneanimaation avulla testata jo suunnitteluvaiheessa. Näin esimerkiksi voidaan rajoitetusta tilasta huolimatta usein valita taloudellinen ilmajäähdytys. Vesijäähdytykseen verrattuna sen kustannukset ovat noin 30–40 % alaisemmat. (Kuvat 2a–c).

4. Käynnin optimointi ja valvonta

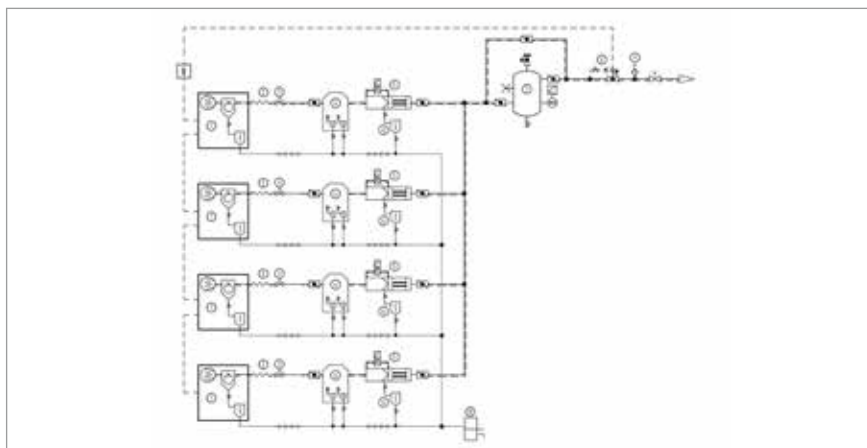
Jotta paineilmatuotanto olisi taloudellista myös pitkällä tähtäimellä, ei pelkkä optimoitu kustannus-hyötysuhde riitä. Tämä edellyttää myös järjestelmän läpinäkyvyyttä, sillä vasta se mahdollistaa tehokkaan valvonnan. Läpinäkyvyydelle luo perustan kompressorin sisäinen SIGMA CONTROL -säätö, joka on viidellä esiohjelmoidulla ohjausvaihtoehdolla varustettu teollisuus-PC. Sen avulla voidaan koota kompressorin käyttötiedot ja siirtää ne edelleen tietoverkkoon. Pääohjaustasolla säätää vastaa jo mainittu SIGMA AIR MANAGER (kuva 18). Aseman optimoidun säädön ja valvonnan ohella sen tehtävänä on koota kompressoriaseman kaikki oleelliset tiedot ja siirtää ne edelleen tietokoneverkkoon (Ethernet). Tämä voi tapahtua joko Internetin tai SIGMA CONTROL CENTER -pääohjausohjelmiston välityksellä. SIGMA AIR MANAGER tarjoaa yhdessä SIGMA AIR CONTROL -visualisointijärjestelmän kanssa mahdollisuuden esittää kaikki paineilma-aseman kompressorit ja niiden tärkeimmät käyttötiedot tietokoneen näytöllä. Näin voidaan ensi silmäyksellä tunnistaa, toimiiiko asema moitteettomasti, onko asemalta tullut häiriö- tai huoltoilmoituksia ja kuinka korkea käyttöpainne on.



Kuva 2a: Paineilma-aseman CAD-optimoitu 3D-suunnitelma



Kuva 2b: Paineilma-aseman pohjapiirustus



Kuva 2c: Paineilma-aseman PI-kaavio

Paineilma-aseman tehokas jäähdytys

Kompressorit muuttavat niihin syötetyn sähköisen energian 100-prosenttisesti lämmöksi. Jo suhteellisen pieni 18,5 kW:n kompressorilaitte tuottaa "sivutuotteena" niin paljon lämpöä, että sillä voisi hyvinkin lämmittää omakotitalon. Siksi tehokas jäähdytys onkin paineilma-aseman toiminnan kannalta ehdottoman tärkeä.

Kompressorien tuottama poistolämpö soveltuu erinomaisesti energiansäästöön. Lämmön talteenottojärjestelmien avulla jopa 96 % käytetystä energiasta voidaan ottaa talteen ja hyödyntää. Näin paineilmatuotannon kustannuksia voidaan tuntuvasti alentaa (ks. kappale 8 sivulta 20 alkaen). Mutta myös lämmön talteenottojärjestelmällä varustetut paineilmalaitteistot vaativat täydellisen jäähdytysjärjestelmän, joka sekin tarjoaa tuntuja säästömahdollisuuksia. Esimerkiksi ilmajäähdetyksen kustannukset voivat olla jopa 30 % alhaisemmat kuin vesijäähdetyksen. Siksi ilmajäähdetyksen tulisi asettaa vesijäähdetyksen edelle aina kuin vain mahdollista.

1. Kompressorien ympäristö

1.1 Ilman on oltava puhdasta ja viileää

Jo työturvallisuudenkin kannalta on tärkeää sijoittaa kompressorit siten, että niihin on helppo päästä käsiksi ja niiden jäähdytysilman saanti on turvattu. Ilma- ja öljyjäähdysteiden laitteiden kohdalla ympäristön lämpötilojen ei myöskään tulisi ylittää +40 °C:ta, eikä kompressorien imuilmaan saa sekoittua mitään vaarallisia aineosia. Nämä ovat minimivaatimuksia, joiden tavoitteena on minimoida tapaturmien ja onnettomuuksien riski. Kompressorien taloudellinen ja huollot minimoiva käyttö vaatii kuitenkin vielä muutakin.



Esimerkki paineilma-aseman poistoilmajärjestelmästä; ilmanvaihtoa tehostettu termostaattiohjatulla lisätuulettimilla jäähdytyskuivainten kohdalla

1.2 Kompressorihuone – romuvarasto?

Kompressorihuone ei ole mikään romuvarasto. Sieltä ei tulisi löytyä sen paremmin sinne kuulumattomia esineitä kuin pölyä tai likaakaan. Lattian tulisi mikäli mahdollista olla hankauksen kestävä. Missään tapauksessa kompressorihuoneeseen ei saa imeä pölyä, nokea tai muita vastaavia epäpuhtauksia sisältävää ilmaa suodattamattomana – olipa sitten kyseessä puristettavaksi tai jäähdytykseen tarkoitettu ilma. Jo aivan normaaleissakin käyttöolosuhteissa kompressorien imu- ja jäähdytysilma on puhdistettava suodattimien avulla.

1.3 Lämpötilalla on merkitystä

Lämpötilaolosuhteilla on huomattava vaikutus kompressorien toimintavarmuuteen ja huollontarpeeseen: imu- ja jäähdytysilman lämpötilat eivät saa olla liian alhaisia (alle +3 °C) eivätkä liian korkeita (yli +40 °C). Kesäisin rakennusten etelän samoin kuin lännenpuoleiset seinät saattavat myös viileämmillä ilmastovyöhykkeillä läm-

metä auringonpaisteessa aika ajoin yli 40 °C:n. Siksi on suositeltavaa sijoittaa imu- ja jäähdytysilmalle suunnitellut aukot siten, että ne eivät ole suorassa auringonpaisteessa. Aukkojen koko määräytyy kompressorien tehon ja ilmanvaihtotavan mukaan.

2. Kompressorihuoneen ilmanvaihto

Kompressorihuoneen ilmanvaihdon on oltava asianmukainen riippumatta siitä, ovatko kompressorit ilma- vai vesijäähdysteisiä. Kompressorin säteilylämpö ja sähkömoottorin poistolämpö on joka tapauksessa johdettava pois. Yhdessä nämä vastaavat noin 10 % kompressorin käyttötehosta.

3. Erilaisia ilmanvaihtotapoja

3.1 Luonnollinen ilmanvaihto

Jäähdytysilma imetään kompressorin, jossa se lämpenee. Tämän jälkeen ilma kohoaa ylös ja poistuu lopuksi kompressorihuoneesta vallitsevan ylipaineen ansiosta ylhäällä seinässä olevan aukon kautta (kuva 1). Tämä yksinkertainen tapa toimii kuitenkin

vain poikkeustapauksissa ja kompressorien tehon ollessa alle 5,5 kW. Jo auringonsäteily tai poistoaukkoa vasten puhaltava tuuli saattaa sekoittaa tämänkaltaisen luonnollisen ilmanvaihdon.

3.2 Koneellinen ilmanvaihto

Tämä ilmastointitapa perustuu ohjattuun jäähdytysilmavirtaan. Lämpötilojen putoaminen kylminä vuodenaikoina alle +3 °C:n estetään termostaattiohjauksella. Liian alhaiset lämpötilat vaikuttaisivat haitallisesti kompressorien toimintaan samoin kuin lauhteenpoistoon ja -käsittelyyn. Termostaattiohjaus on välttämätön, koska koneellista ilmanvaihtoa käytettäessä kompressorihuoneessa vallitsee tietty alipaine, joka estää lämmenneen ilman takaisinvirtauksen huoneeseen. Se voidaan toteuttaa kahdella tavalla:

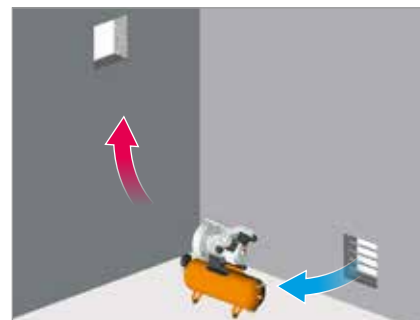
3.2.1 Ilmanvaihto ulkoisen tuulettimen avulla

Kompressorihuoneen poistoilma-aukoon asennettu termostaattiohjattu ulkoinen tuuletin (**kuva 2**) imee lämmenneen ilman ulos. Tällöin on tärkeätä, että imuaukko (alhaalla oikealla) on riittävän suuri, jotta tilaan ei muodostu alipainetta eikä liian voimakkaan ilmapuhtauksen aiheuttamaa häiritsevää kohinaa. Paineilma-aseman jäähdytys saattaisi myös vaarantua. Ilmanvaihto on suunniteltava siten, että lämpötila ei kompressorien poistolämmön vuoksi kohoa yli 7 kelviniä, sillä liian korkea lämpötila saattaisi aiheuttaa oikosulun, jolloin paineilmatuotanto keskeytyisi.

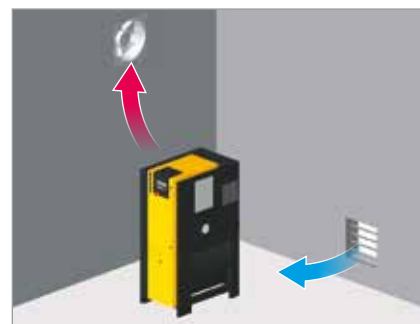
3.2.2 Ilmanvaihto poistoilmakanavan avulla

Kauttaaltaan koteloidut ruuvikompressorit mahdollistavat poistoilmakanavan avulla toteutettavan, lähes ihanteellisen ilmanvaihdon: kompressorit imee tuloilman aukon kautta ja puhaltaa lämmenneen poistoilman kanavaan, jonka kautta se ohjataan suoraan ulos kompressorihuoneesta (**kuva 3**).

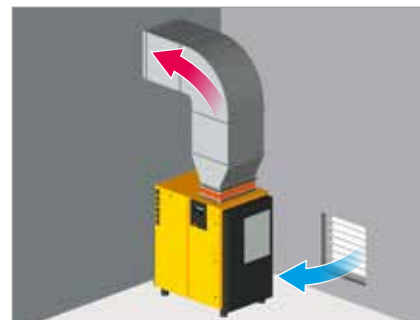
Tämän menetelmän etu on siinä, että jäähdytysilmavirran voidaan antaa lämmetä enemmän eli noin 20 kelviniä. Näin vaaditun jäähdytysilman määrä pienenee. Tavallisesti kompressoreissa vakiona olevat tuulettimet riittävät poistoilman ulospuhaltamiseen, joten energiantarvetta lisääviä ulkoisia poistoilmatuulettimia ei tarvita. Tämä pätee kuitenkin vain siinä tapauksessa, että jäähdytysilman poistopaine on riittävä. Tämän lisäksi poistoilmakanava täytyy varustaa termostaattiohjatuilla säätöpölyillä (**kuva 4**), joka estää kompressorihuoneen liiallisen viilentymisen kylminä vuodenaikoina. Jos kompressorihuoneeseen on sijoitettu myös ilmajäähdytteisiä kuivaimia, on laitteet sijoitettava siten, että kompressorit ja kuivaimet eivät häiritse toistensa jäähdytysilman saantia. Lämpötilan ollessa yli +25 °C on suositeltavaa tehostaa jäähdytysilman läpivirtausta termostaattiohjatuilla lisätuulettimella jäähdytyskuivaimen kohdalla.



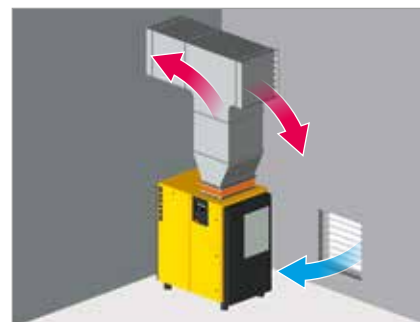
Kuva 1: Luonnollinen ilmanvaihto alle 5,5 kW:n laitteille



Kuva 2: Poistoilmatuulettimella varustettu koneellinen ilmanvaihto 5,5–11 kW:n laitteille



Kuva 3: Poistoilmakanavalla varustettu koneellinen ilmanvaihto yli 11 kW:n laitteille



Kuva 4: Termostaattiohjattu säätöpöly tasaa lämpötilan

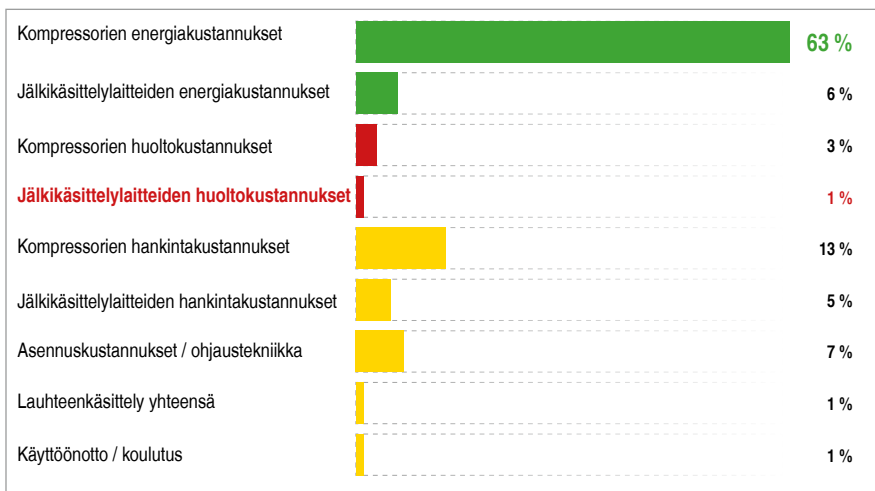
Toimintavarmuuden ja kustannusten optimointi pitkällä tähtäimellä

Sivuilla 22–33 kerrotaan, mitä kaikkea uuden paineilma-verkoston asentamisessa ja vanhan verkoston saneerauksessa on huomioitava, ja kuinka tehokas paineilma-asema tulisi suunnitella. Energia- ja kustannustietoisella suunnittelulla ja toteutuksella päästään kuitenkin vasta puolitiehen. Jos paineilma-tuotanto halutaan jatkuvasti pitää taloudellisena, on paineilmajärjestelmää myös käytettävä tehokkaasti.

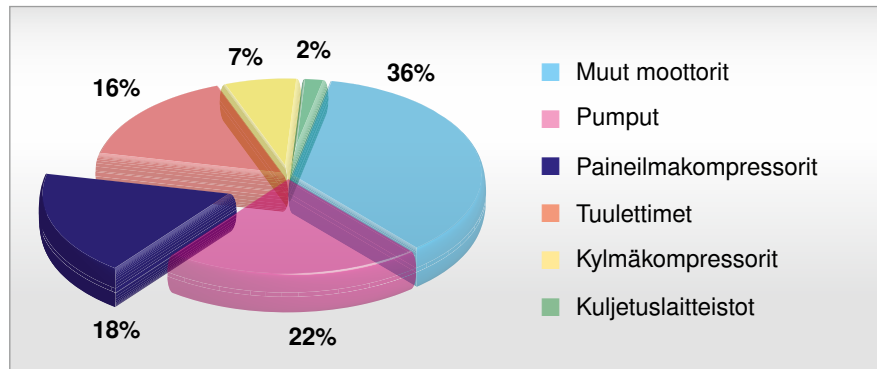
Pyrkimys mahdollisimman tehokkaaseen paineilmatuotantoon tuo järjestelmän käyttäjälle kolmenlaista etua: paineilmatuotannon luotettavuus paranee, ja paineilmakustannukset ja energiankulutus alenevat tuntuvasti. Säästöpotentiaalia on runsaasti: EU:n teettämän SAVE II -tutkimuksen mukaan Euroopan paineilmakompressorien energiankulutus vuonna 2000 oli 80 miljardia kWh, josta vähintään 30 % voitaisiin säästää (kuva 1).

1. Mitä tarkoittaa optimaalinen taloudellisuus?

Paineilmajärjestelmän taloudellisuus on luettavissa sen kustannusrakenteesta. Saavutettavissa oleva optimi vaihtelee yrityksestä ja tuotannonalasta toiseen.



Kuva 2: Optimoidun paineilmajärjestelmän kustannusrakenne



Kuva 1: Paineilmakompressorien osuus teollisuuden sähkökäyttäjien energiankulutuksesta EU:ssa (lähde: SAVE II -tutkimus (2000))

Ratkaisevia tekijöitä ovat kompressorien käyntiajat, painetaso sekä tietyt kaupalliset parametrit. Tässä esimerkkinä optimoitu, ilmajäähdytteisistä kompressoreista muodostuva paineilma-asema: käyntiaika 5 vuotta, sähkön hinta 8 senttiä/kWh, korko 6 %, käyttöpaine 7 baaria, ISO 8573-1 -standardin mukainen paineilman laatu, jonka jäännösöljypitoisuus vastaa luokkaa 1, jäännösöljypitoisuus luokkaa 1, jäännösvesipitoisuus luokkaa 4. Esimerkki osoittaa, että optimaalisissakin olosuhteissa energian osuus paineilman kokonaiskustannuksista on 70 %:n luokkaa (kuva 2). Coburgin ammattikorkeakoulun (FH Coburg) vuonna 2003

tekemässä tutkimuksessa on kartoitettu saksalaisilla paineilma-asemilla havaittuja silmiin pistäviä seikkoja (sivu 35, kuva 3).

2. Taloudellisuuden ylläpitäminen

Jos paineilmatuotanto halutaan jatkuvasti pitää taloudellisena, on huomioitava muutamia tärkeitä seikkoja:

2.1 Huolto tarpeen mukaan

Teollisuus-PC-pohjaiset SIGMA CONTROLin kaltaiset sisäiset kompressorihaukukset sekä ja SIGMA AIR MANAGER 4.0:n kaltaiset pääohjausjärjestelmät kertovat käyttäjälle tarkkaan, koska paineilma-aseman komponentit vaativat huoltoa. Näin huollot voidaan tehdä tarpeen mukaan ja ennakoivasti. Lopputulos: alhaisemmat huoltokustannukset, taloudellisempi ja luotettavampi paineilmatuotanto ja siten parempi tuotantovarmuus.

2.2 Oikeat paineilmatyökalut

Väärissä kohdissa voidaan säästää paitsi paineilman tuotantopuolella myös sen käyttöpuolella: tuotantoon saatetaan esimerkiksi hankkia koneita, jotka ovat hankintahinnaltaan edullisia, mutta vaativat siitä hyvästä korkeamman käyttöpaineen. Tällaisten laitteiden vaatima korkeampi paine ja/tai paineilmajärjestelmän laajentaminen ylittävät nopeasti ne lisäkustannukset, joita

alhaisemmalla – esim. 6 baarin – paineella käyvän koneen hankinnasta olisi aiheutunut. Siksi tuotantokoneiden hankintaa varten tulisi laatia ohjeistus, jossa huomioidaan paitsi sähkö- myös paineilmaparametrit.

2.3 Muuttuneet tuotanto-olosuhteet

2.3.1 Paineilman kulutus

a) Tuotannon uusiminen

Kulutuksen heilahtelut ovat monin paikoin jokapäiväisiä. Tämä jää usein liian vähälle huomiolle, ja niinpä tuotannon uusiminen saattaa johtaa siihen, että kompressorit yhden työvuoron aikana käyvät täysin alikuormitettuina, mutta toisen työvuoron paineilman tarve on niin suuri, että jopa paineilmatuotannon varakapasiteettikin käytetään loppuun. Paineilmatuotanto on sen vuoksi aina mukautettava muuttuneisiin tuotantorakenteisiin.

b) Tuotannon laajentaminen

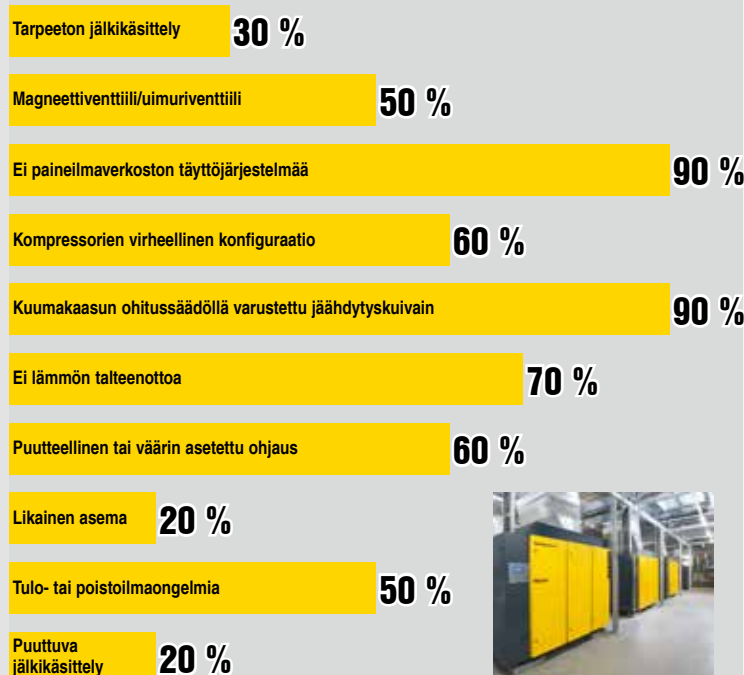
Tässä tapauksessa kompressorien tehojen ohella myös putkijohdot ja paineilman jälkikäsittely on mukautettava uusiin olosuhteisiin. Jos laitoksen tuotantokapasiteettia halutaan lisätä jo olemassa olevaa konekantaan laajentamalla, on suositeltavaa mitata olemassa olevien laitteiden paineilman kulutus, jotta paineilmatuotannon ajanmukaistaminen perustuisi mahdollisimman yksityiskohtaisiin tietoihin.

2.3.2 Luotettava paineilman saanti

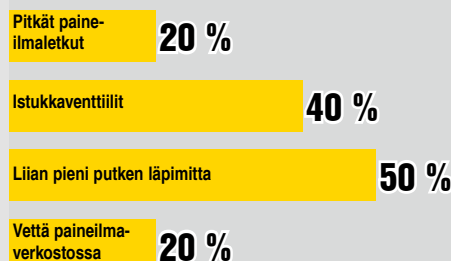
Paineilma-asemaan kuuluu tavallisesti myös varakompressor. Paineilman jälkikäsittelyssä tämä reservi kuitenkin usein jätetään huomioimatta. Kulutuksen kasvaessa varakompressor kytkeytyy päälle, mutta riittämättömän jälkikäsittelykapasiteetin vuoksi paineilman laatu heikkenee. Sen vuoksi jokaiselle varakompressorille tulisi suunnitella myös sen kapasiteettia vastaava jälkikäsittely-yksikkö (kuivain/suodatin).

Havainnointia paineilma-asemilta ja tuotantotiloista

Paineilma-asema



Tuotanto



Kuva 3: Alkuperäiset tulokset: ks. KAESERin suorittamien paineilmakartoitusten tulostulosanalyysi. Coburgin ammattikorkeakoulun konerakennuslinjan diplomityö (Anja Seitz 2003).

Toimintavarmuuden ja kustannusten optimointi pitkällä tähtäimellä

2.3.3 Paineilmalaadun muuttuminen

Paineilman laadulle asetettujen vaatimusten tiukentuessa on erotettava, koskeeko tämä koko tuotantoa vai jotain yksittäistä tuotannon osa-aluetta. Ensiksi mainitussa tapauksessa ei riitä, että paineilma-asemalle keskitetyt jälkikäsittelylaitteet ajanmukaistetaan. Myös putkijohdot, joiden läpi on tähän asti virrannut heikompaalaista paineilmaa, on puhdistettava tai uusittava. Jälkimmäisessä tapauksessa sen sijaan on suositeltavaa asentaa vaaditun laatuista paineilmaa tuottava hajautettu jälkikäsittelylaitteisto.

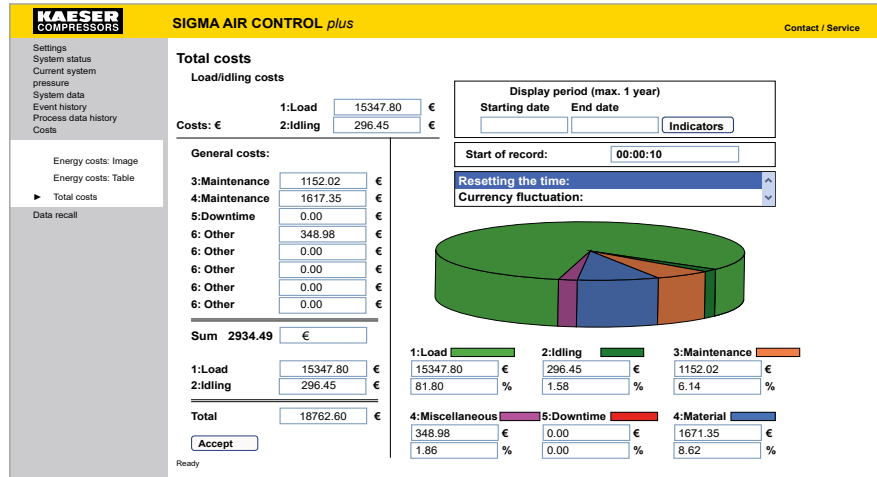


Kuva 4: Vuotojen paikannus ultraäänellä

Jotta paineilman laatu pysyisi tasaisen korkeana, on läpivirtausta rajoitettava. Muussa tapauksessa hajautettuun jälkikäsittelylaitteistoon saattaisi virrata liikaa paineilmaa, sillä laitteistoa ei luonnollisestikaan ole mitoitettu kompressorien maksimituoton mukaan.

2.4 Vuodot kuriin

Vaikka paineilmaverkosto olisi kuinka hyvin huollettu, ei vuodoilta voida välttyä. Ne voivat usein aiheuttaa huomattavia energiahäviöitä. Eniten vuotoja aiheutuu kuluneista työkaluista, letkuliitoksista ja koneiden osista (kuva 4). Siksi on tärkeää kiinnittää näihin puutteisiin huomiota ja puuttua niihin tarvittaessa. On myös suositeltavaa mitata



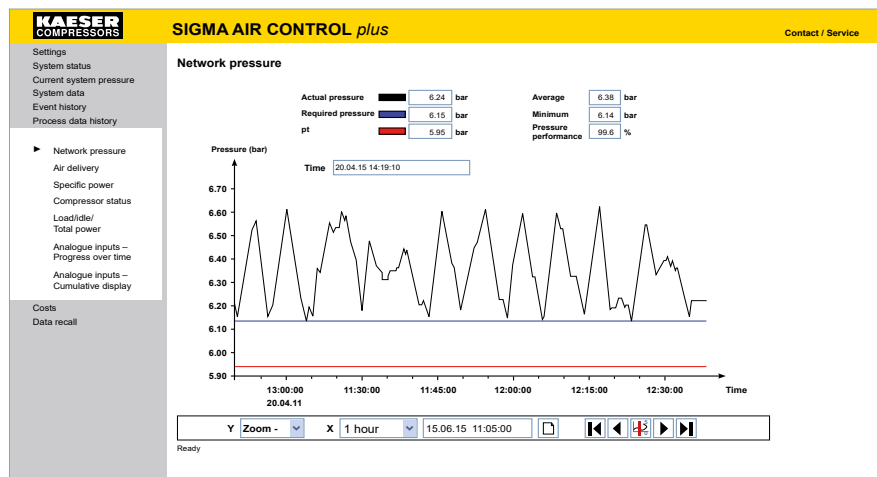
Kuva 5a: Hallintajärjestelmän antama paineilman kustannusanalyysi (www-pohjainen)

kokonaisvuodot säännöllisin välein esimerkiksi SIGMA AIR MANAGERin avulla. Jos vuodot ovat lisääntyneet, on vuotokohdat etsittävä ja eliminointava.

3. Kustannusten hallinta varmistaa taloudellisuuden

Suunnittelun yhteydessä analyysin saadut tiedot ovat – päivitettyinä – myös myöhemmin mielenkiintoisia. Niiden saamiseksi ei enää tarvita erillisiä analyysejä. SIGMA AIR MANAGERin kaltaiset järjestelmät huolehtivat tästä tehtävästä. Näin saadaan perusta paineilmajärjestelmän katselmuksille ja paineilmatuotannon tehokkaalle kus-

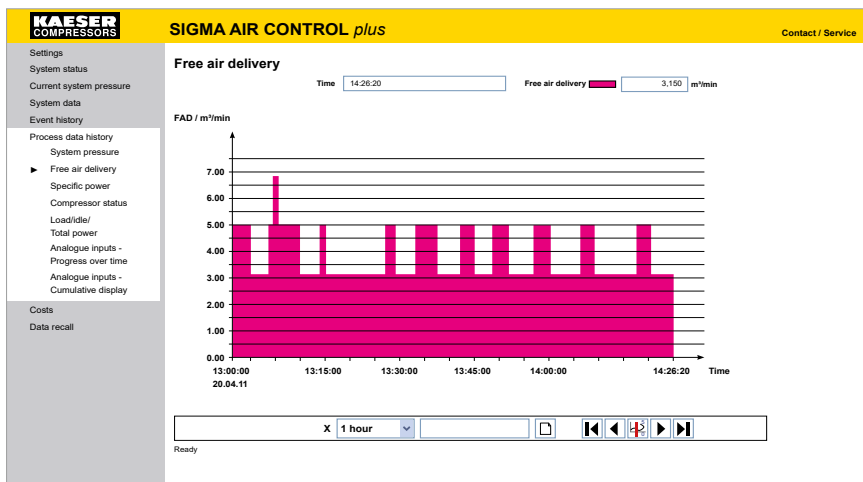
tannushallinnalle (kuvat 5a–e). Mitä useampi käyttäjä tuo tällä tavoin läpinäkyvyyttä paineilmakustannuksiinsa, kartoittaa säästömahdollisuuksia ja paineilmateknisiä komponentteja hankkiessaan asettaa energiatehokkuuden etusijalle, sitä lähemmäksi päästään tavoitetta alentaa paineilmatuotannon energiakulutusta kautta linjan vähintään 30 prosentilla. Tästä hyöttyvät niin yritysten taseet kuin ympäristömmekin.



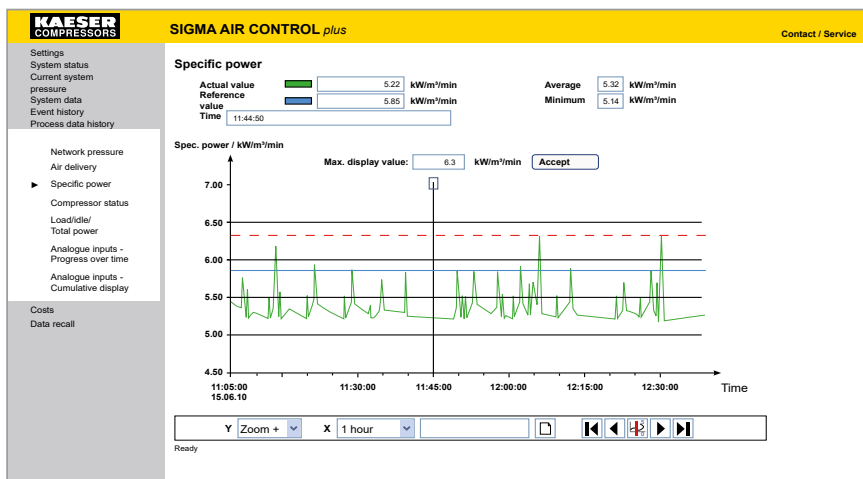
Kuva 5b: Paineen kulku



Kuva 5c: Yhteenveto: Ohjaus ja hallintajärjestelmä



Kuva 5d: Paineilman kulutus



Kuva 5e: Ominaistehon tarve

Käytännön vinkkejä

Vinkit 1–7

40-51

Vinkki 1

Paineen optimointi tuo säästöä

Oikea käyttöpaine vaikuttaa merkittävästi paineilmajärjestelmän taloudellisuuteen. Jo pienillä toimenpiteillä on usein suuri vaikutus.

Paineilmatyökalujen kohdalla tilanne voi olla esimerkiksi seuraavanlainen: Töiden levätessä huoltoyksikön paine on 6,1 ja itse työkalun 6,0 baaria. Tämä paine ei kuitenkaan ole sama kuin paine työkalua käytettäessä.

Paine putoaa työkalun kohdalla – missä vika?

Työkalun käytön yhteydessä tapahtuva paineenmittaus paljastaa usein huomattavan suuren paineen putoamisen. Esimerkkitapauksessa se on 2 baaria, mikä tarkoittaa, että työkalua käytetään vain 54 prosentin teholla.

Syyt on usein helppo eliminoida:

a) Liian pieni liitännän läpimitta: Käytä läpimitaltaan suurempaa pikakytkintä.

b) Väärin asetettu paineenalennin: Avaa paineenalenninta enemmän.

c) Liian alhainen järjestelmäpaine: Korota verkostopainetta tai asenna suuremman läpimitan omaavat putkijohdot.

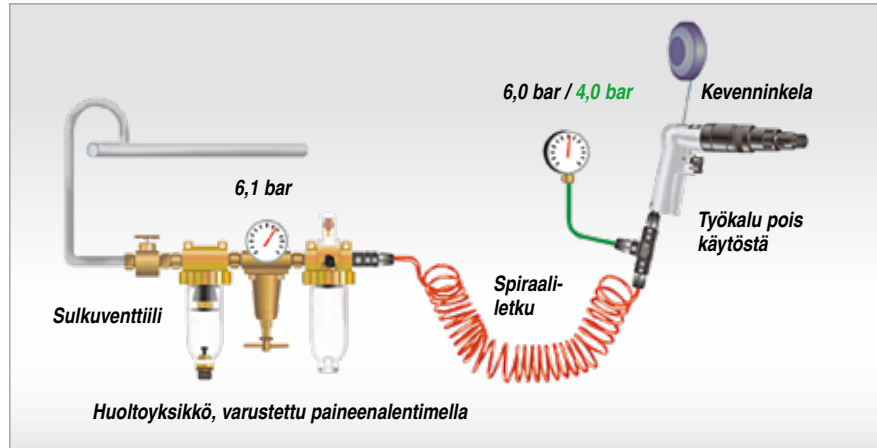
d) Liian pieni spiraaliletku: Käytä suurempaa spiraalilettoa tai vielä mieluummin suoraa letkua.

e) Paineen putoaminen hajautetussa vedenerottimessa: Kuivaa paineilmaa keskitetysti (erotinta ei tarvita).

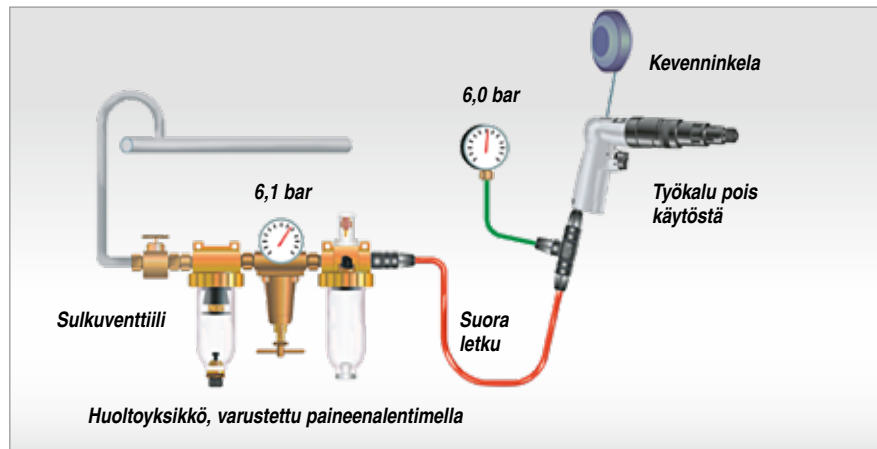
Näillä toimenpiteillä paineilmatyökaluun saadaan optimaalinen paine (tässä: 6 baaria), jolloin se toimii 100 prosentin teholla.

Säästä energiaa – mutta kuinka?

Paineenalentimilla on suurempi vaikutus paineilman käytön tehokkuuteen kuin usein luullaan. Esimerkkitapauksessa paineilmajärjestelmää käytetään 8–10 baarin käyttöpaineella. Paineilman käyttökohteissa paine on 7,5–9,5

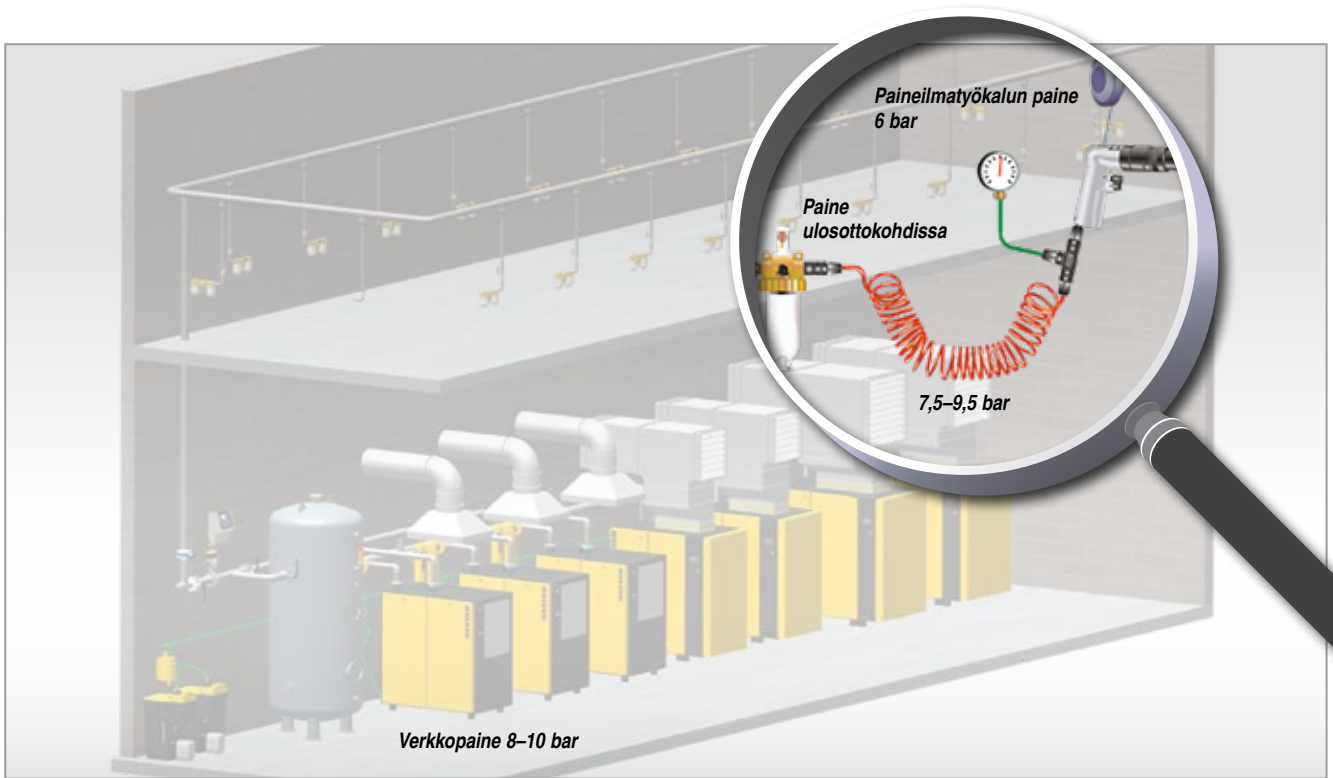


*Spiraaliletkuun kiinnitetty työkalu – Paine 6,0 baaria, kun paineilmaa ei käytetä.
4,0 baaria työkalua käytettäessä = 2 baarin paineenpudotus – teho enää vain 54 %!*

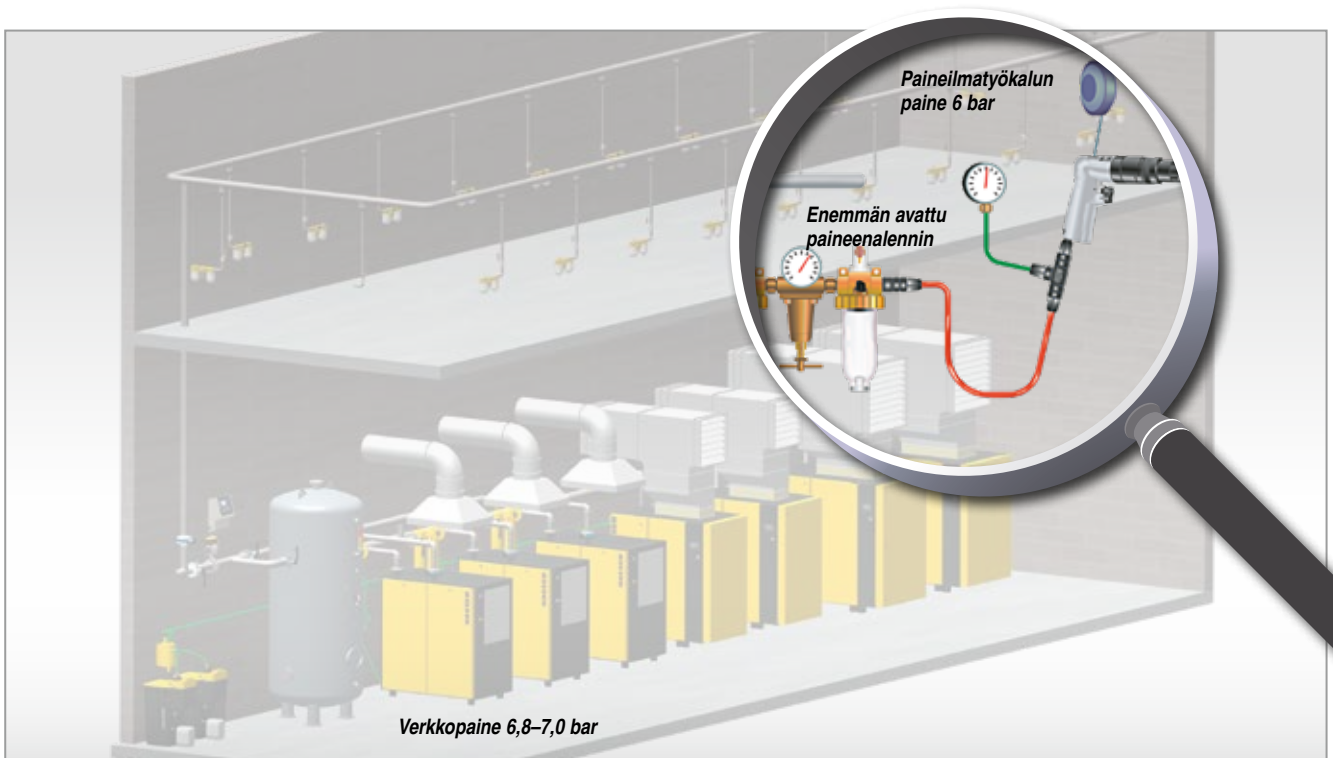


Vedenerottimet ja spiraaliletkut ovat energiasyöppöjä: suosi mieluummin keskitettyä paineilman kuivausta ja suoria letkuja

baaria, ja paineenalentimet alentavat sen 6 baariin. Energian säästämiseksi järjestelmäpaine alennetaan 6,8–7 baariin. Verkon ulosottokohdissa paine on vielä 6,1 baaria, mutta työkaluissa enää 4 baaria. Seurauksena ovat kompressorien pidentyneet käyntiajat sekä töiden pitkittyminen ja puutteellinen työn laatu, jotka johtuvat työkalun liian alhaisesta paineesta. Haluttu säästö on helposti saavutettavissa, kun järjestelmäpainetta alennetaan, turhista vedenerottimista luovutaan, työkalujen paineenalentimia avataan enemmän ja käyttöön otetaan suorat letkut.



Silkkaa energian tuhlausta: ensin liian korkea ilmanpuristus ja sitten paineen alentaminen työkalussa



Sen sijaan: alenna järjestelmäpainetta ja avaa paineenalenninta enemmän

Vinkki 2

Paineilmaliitännän oikea paine

Kompressoriaseman paine on kohdallaan, mutta paineilmatyökaluissa paine ei kuitenkaan riitä. Missä vika?

Syy saattaa löytyä letkuista, pikakytkimistä tai paineenalentimista. Usein paine on kuitenkin liian alhainen jo paineilman ulosottokohdassa: niinpä alkuperäisestä 6,8–7 baarin paineesta saattaa paineilmatyökaluille jäädä jäljelle vaivaiset 5 baaria.

Vastaläike löytyy useimmiten nopeasti, sillä kuinka helppoa onkaan korottaa paineilma-aseman painetta vastaavasti yhdellä baarilla. Tämä ratkaisu vie kuitenkin ojasta allikkoon, sillä jokainen paineilma-aseman tuottama ylimääräinen baari lisää energiantarvetta 6 prosentilla. Myös paineilmauudot lisääntyvät huomattavasti. Kannattaa siis etsiä ja eliminoida painehäviön aiheuttaja.

Ongelman syy löytyy putkistosta

Jos paine välittömästi kompressorin jälkeen on kohdallaan eikä merkittävästi putoa kompressoria seuraavissa jälkikäsitteilylaitteissakaan, voi syy olla vain paineilmaputkistossa. Se jakautuu

kolmeen osaan: runkojohtoon, jakelujohtoon ja liitäntäjohtoon (**kuva 1**). Optimoidussa paineilmajärjestelmässä seuraavan suuruinen paineenputoaminen on vielä taloudellisesti perusteltavissa:

Runkojohto (1):	0,03 bar
Jakelujohto (2):	0,03 bar
Liitäntäjohto (3):	0,04 bar
Tämän lisäksi on huomioitava:	
Kuivain (4):	0,2 bar
Huoltoyks./letku (5):	0,5 bar
Yhteensä:	0,8 bar

Poista pullonkaulat

Putkistoa lähemmin tarkasteltaessa käy usein ilmi, että runko- ja jakelujohtojen mitoitus tosin on kohdallaan, mutta liitäntäjohtot sen sijaan ovat liian ahtaita. Niiden tulisi olla kooltaan vähintään DN 25 (1"). Putken läpimitan laske-
miseksi KAESERin kotisivuilta löytyy laskentataulukko:

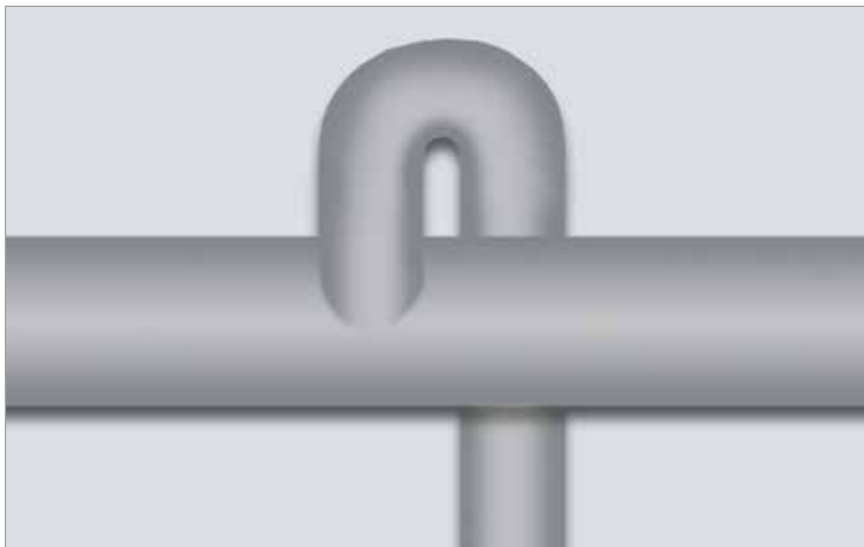
<https://fi.kaeser.com/palvelut/tietoa/laskimet/paineen-putoaminen/>

Tähän on olemassa myös varta vasten laadittu **nomogrammi**. Se löytyy **liitteestä 1 sivulta 54** alkaen.

Kiinnitä huomiota liitäntään

Jotta putkistoon mahdollisesti muodostuva kosteus ei aiheuttaisi häiriöitä tai vaurioita, tulisi jakelujohtosta erkanevan liitäntäjohtoon olla virtaus-
teknisesti edullinen ylöspäin erkaneva nk. joutsenkaula (**kuva 2**). Vain jos on sataprosenttisen varmaa, että putkijohdoissa ei esiinny lauhdetta, saa liitäntäjohto erkaantua myös suoraan alaspäin (**kuva 3**).

Sivulla 40 olevassa kuvassa on esitetty optimoitu kytkentä, jossa painehäviö kompressorin poistoaukon ja paineilmatyökalun välillä on enintään 1 baaria.



Kuva 2: Joutsenkaula



Kuva 1: Paineilman jakelujärjestelmän pääkomponentit: runkojohto (1), jakelujohto (2), liitäntäjohto (3), kuivain (4), huoltoyksikkö/letku (5)



Kuva 3: Suoraan erkaneva putki

Vinkki 3

Paineilman tehokas jakelu

Jokaisen yrityksen kohdalla on erikseen mietittävä, mikä paineilman jakelutapa on paras: säteis-, rengasjohto vai verkosto. Jos paineilman käytön halutaan olevan taloudellista, ei riitä, että paineilma tuotetaan energiatietoisesti. Myös sen jakelun on oltava mahdollisimman tehokasta. Tässä kerromme, kuinka se tapahtuu.

Putkihaara

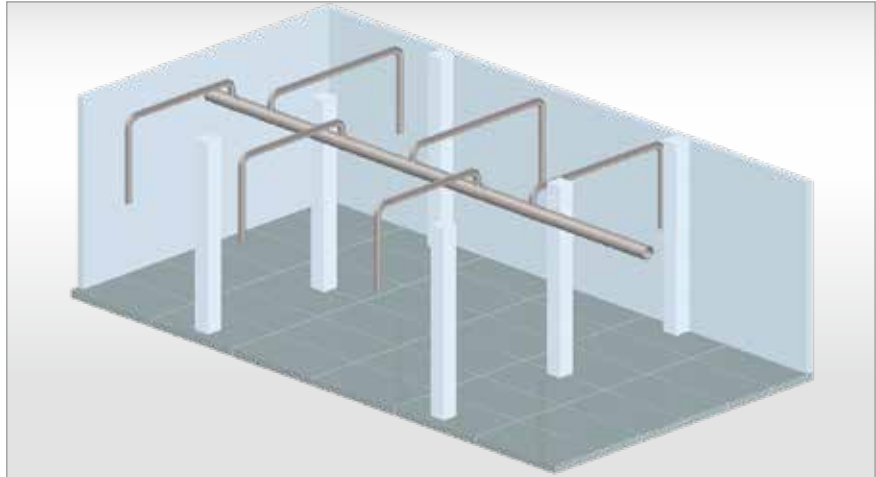
Putkihaaran ja siitä työpisteisiin johtavien johtojen (**kuva 1**) asentaminen on suhteellisen helppoa. Putkihaaraa ei yleensä tarvitse vetää pitkiä matkoja, mutta sen kapasiteetin on riitettävä koko kuljetettavalle paineilmamäärälle. Tämä tarkoittaa, että putken läpimittaan tulee olla rengasjohtoon tai verkostoon verrattuna huomattavasti suurempi. Paineilmatyökaluihin johtavat liitäntäjohdot ovat myös pitempiä ja ne on mitoittava suuremmiksi. Putkihaarat sopivat yleensä vain pienille yrityksille, sillä tämä rakenne ei tarjoa mahdollisuutta sulkea osaa putkistosta laajennus- tai kunnostustöiden vuoksi.

Rengasjohto

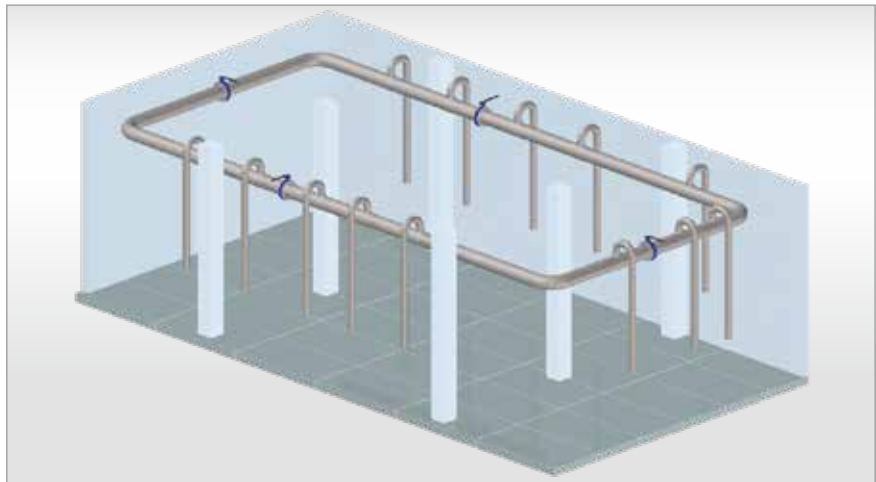
Putkihaaraan verrattuna rengasjohtolla (**kuva 2**) on yksi ratkaiseva etu, vaikka työmäärä niitä asennettaessa onkin suurempi: Jos kaikkien järjestelmään kytkettyjen työkalujen paineilman tarve on yhtä suuri, voidaan putkijohtot niin pituudeltaan kuin tilavuudeltaankin mitoittaa puolet pienemmiksi. Tällöin riittää putkien pienempi läpimitta kuljetuskapasiteetin heikentymättä. Lyhyiden liitäntäjohtojen koko on harvoin yli DN25. Riittävä määrä sulkulaitteita mahdollistaa sen, että laajennuksen tai saneerauksen yhteydessä voidaan sulkea yksittäisiä osuuksia koko tuotantoa pysäyttämättä.

Verkosto

Suurempien laitosten kohdalla suositeltavin vaihtoehto on putkiverkosto, ts. sekä pituus- että poikittaissuuntaan



Kuva 1: Paineilman säteittäiset putkihaarat



Kuva 2: Paineilman rengasjohto

kulkevilla välijohtoilla verkkorakenteeksi laajennettu rengasjohto (**kuva 3**). Tämä vaihtoehto on asennukseltaan työläin, mutta siitä huolimatta edut ovat suuremmat kuin haitat: verkkomainen rakenne mahdollistaa paineilman luotettavan ja energiatehokkaan jakelun suurissakin tehdashalleissa ilman, että putkijohtojen mitat karkaavat käsistä. Päinvastoin: pienten ja keskisuurten yritysten rengasjohtojärjestelmän tapaan johtojen läpimitta voidaan verkkorakenteen ansiosta pitää suhteellisen pienenä. Tämäkin järjestelmä voidaan tarvittaessa sulkea osittain sulkulaitteilla.

Runkojohdon mitoitus

Paineilmajärjestelmän runkojohto kytkee eri tuotantoalueille tai rakennuksiin johtavat jakelujohdot ja paineilma-aseman toisiinsa. Runkojohdon mitoituksessa ratkaisevaa on kompressorien kokonaistuotto. Se määrää johdon mitat ja kapasiteetin. Painehäviön ei tulisi ylittää 0,03 baaria.

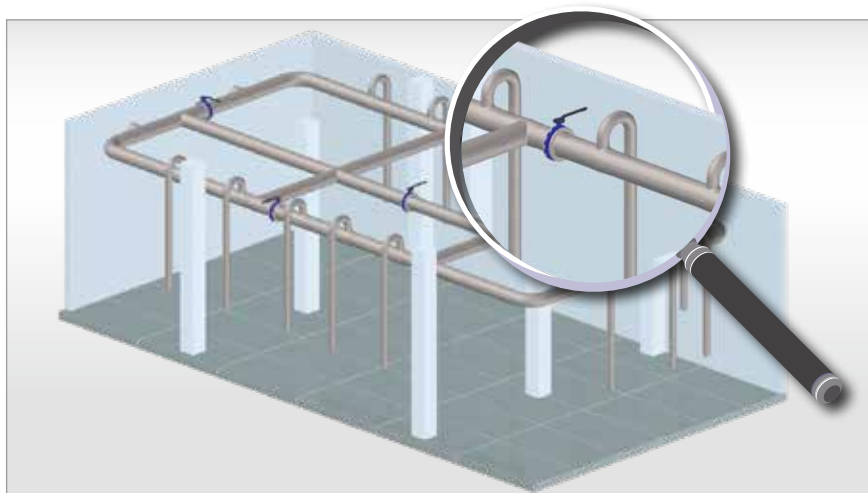
Keskitetty paineilmatuotanto

Kun useamman tuotantoalueen tai valmistushallin vaatima paineilma tuotetaan yhdellä ainoalla paineilma-asemalla, on yksittäisten tuotantoalueiden runkojohdot mitoittettava

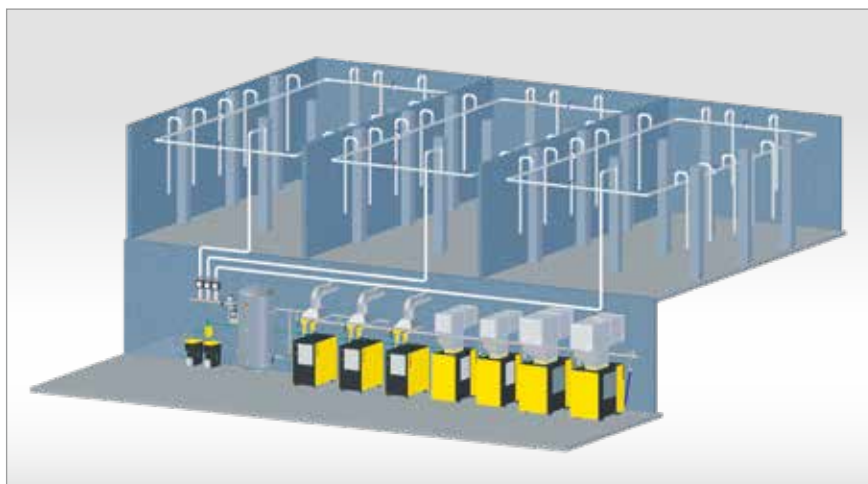
kunkin osa-alueen maksimitarpeen mukaan (painehäviö < 0,03 bar). Paineilma-asemalla yhteen niputetut johdot tarjoavat sen edun, että yksittäisten tuotantoalueiden paineilman syöttö voidaan tarvittaessa helposti katkaista. Kun järjestelmää vielä täydennetään tilavuusvirtamittareilla, on yksittäisten alueiden paineilman kulu-tusta helppo valvoa (**kuva 4**).

Hajautettu paineilmatuotanto

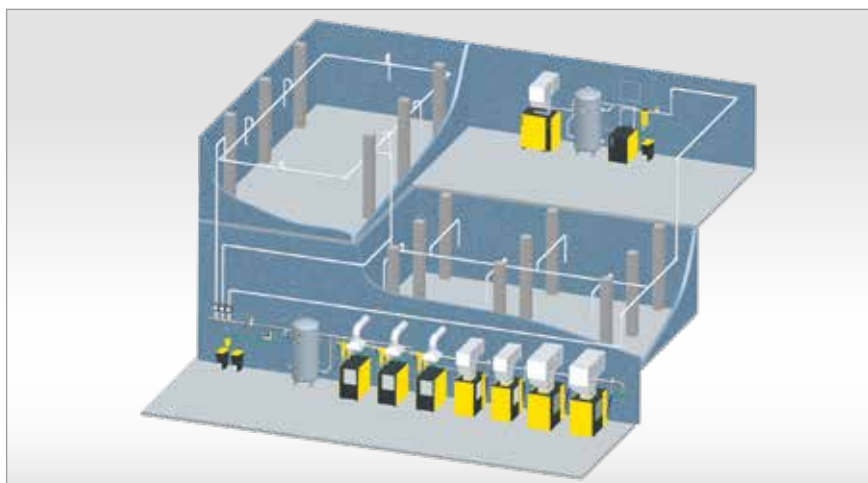
Jos kahdella tai useammalla paineilma-asemalla tuotettu paineilma syötetään yhteen suureen runkojohtoon, on tällaisen järjestelmän putkijohdot mitoittettava siten, että suurimman aseman tuottama maksimipaineilmamäärä voidaan johtaa jokaiselle tuotantoalueelle. Yksittäisten asemien välisen painehäviön ei tässäkään järjestelmässä tulisi ylittää 0,03 baaria. Muussa tapauksessa tarvittaisiin vaativat ja hintavat säätöjärjestelmät (**kuva 5**).



Kuva 3: Välijohtoilla täydennetty paineilmaverkosto



Kuva 4: Useamman tuotantoalueen vaatiman paineilman keskitetty tuotanto



Kuva 5: Useamman tuotantoalueen vaatiman paineilman hajautettu tuotanto kahdella asemalla; keskitetty säätö

Vinkki 4

Paineilma-aseman putkijohdot

Paineilman jakelun ohella putkiston tehtävänä on kytkeä kompressorit ja aseman muut komponentit kokonaisu-järjestelmään. Jotta mahdollisimman suuri toimintavarmuus ja tehokkuus olisivat tässäkin turvattuina, on asennuksen yhteydessä huomioitava muutamia tärkeitä seikkoja.

Pääsääntöisesti paineilma-aseman putkijohdot tulee suunnitella siten, että niiden aiheuttama painehäviö jää alle 0,01 baarin paineilmatuotannon ollessa maksimissaan. Koska putkien lämpökuormitus on tässä osassa järjestelmää vaikeasti määriteltävissä, on suositeltavaa käyttää ainoastaan metalliputkia.

Paineilman jakelujohtojen liitäntä

Paineilma-aseman putkijohdojen kytkemiseksi paineilma-verkoston suositeltavaa käyttää kokoojajohtoa, josta kaikki jakelujohtot erkanevat (kuva 1.1). Näin paineilman jakelu verkoston eri osiin voidaan tarvittaessa katkaista.

Kostean alueen putkiasennus

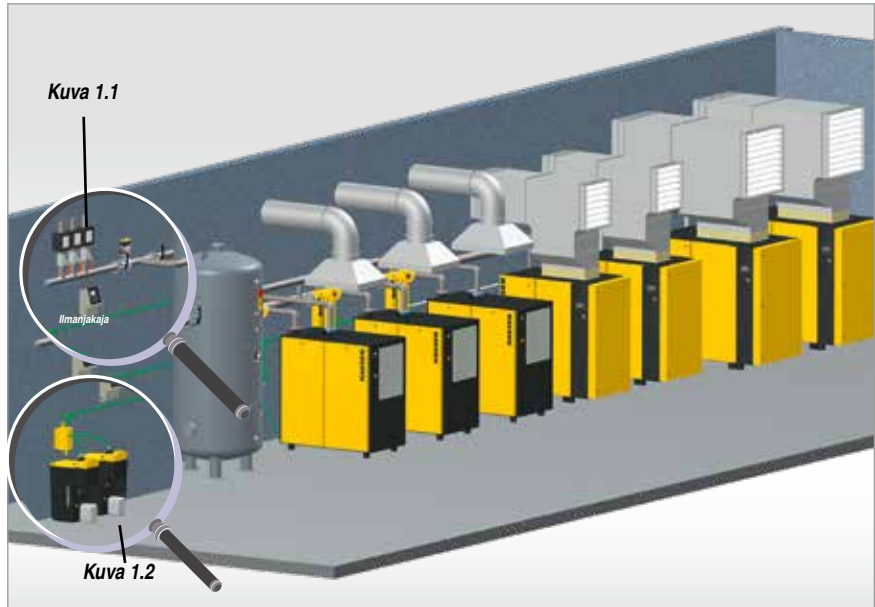
Kostean paineilman alueelle, ts. kompressorien ja kuivainten välisiin putkijohdosiin, ei mahdollisuuksien mukaan tulisi asentaa vesikuoppaa. Muussa tapauksessa on vesikuoppaan johtavan putkijohdon oltava kalteva, ja vesikuoppaan kertynyt lauhde on poistettava lauhteenpoistimen avulla (kuva 2).

Liitä komponentit oikein

Paineilma-aseman yksittäiset komponentit (kompressorit, kuivaimet jne.) on pääsääntöisesti liitettävä runkojohtoon yläsuunnasta. Sisälämpimitasta DN 100 alkaen liitäntä voi olla myös komponentin sivulla (kuva 3 a/b).

Kompressorien liitäntä

Jotta tärinä ei siirtyisi eteenpäin, on kompressorit yhdistettävä putkistoon joustavalla liitoksella. Letkuliitos



Kuva 1: Paineilma-asema; keskitetysti erkanevat putkijohdot

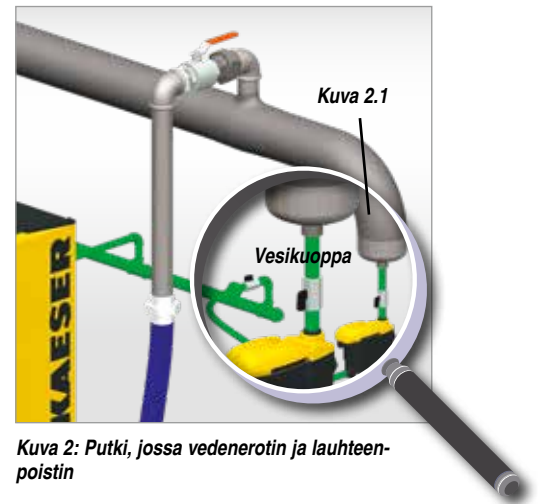
on soveltuva ratkaisu alle DN 100:n putkiläpimitoille (kuva 4). Letkun ja ensimmäisen putkentaiteen väliin asennetaan vahvike, johon voimat kohdistuvat ja joka siten estää niiden siirtymisen putkeen (kuva 4.1). Jos putken läpimitta on yli DN 100, vaatii kompressorin joustava liitäntä putkiverkoston letkun sijaan aksiaalipaljetasaimen (kuva 3b).

Lauhteen luotettava poisto

Luotettava lauhteenpoisto on yksi paineilma-aseman optimoidun käyttövarmuuden ja paineilman saatavuuden perusedellytyksistä. Eryisesti lauhdejohtojen asennuksessa tulisi pyrkiä välttämään virheitä. Kehittyneestä lauhteenpoistotekniikasta huolimatta lauhteenkäsittelyjärjestelmään johtavat liitäntäjohtot asennetaan usein väärin. Seuraavassa esitetyt vinkit huomioimalla näiltä virheiltä voidaan välttyä ja luoda hyvät edellytykset luotettavalle lauhteenpoistolle.

Palloventtiilit lauhteenpoistimiin

Lauhteenpoistimet tulisi molemmiin



Kuva 2: Putki, jossa vedenerotin ja lauhteenpoistin

puolin varustaa palloventtiilillä, jotta ne huollon yhteydessä voitaisiin vaivatta irrottaa järjestelmästä (kuva 2.1).

Oikea mitoitus

Kokoojajohtoon johtavan liitännän tulisi olla vähintään 1/2 tuumaa, jotta johdosiin ei muodostu turhaa dynaamista painetta.

Liitäntä ylhäältä

Lauhdejohtot tulisi liittää kokoo-

jajohtoon ylhäältä käsin, jotta lauhteenpoistokohdat eivät keskenään häiritsisi toistensa toimintaa (**kuva 3a (1)**).

Paineeton ja kalteva johto

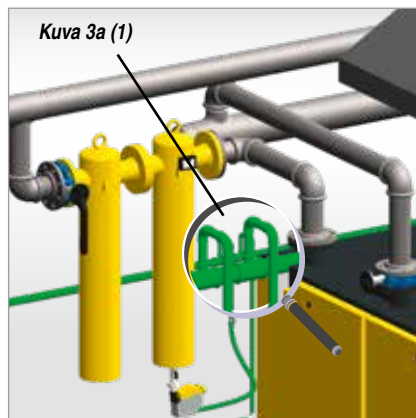
Lauhteen kokoojajohdon tulee aina olla paitsi kalteva myös paineeton. Tämä on ehdoton edellytys, jos johtoon johdetaan lauhdetta lauhteenpoistimista, jotka sijaitsevat eri painetasoin omaavissa järjestelmäkomponenteissa (syklonierottimissa, paineilmasäiliöissä, jäähdytyskuivaimissa, suodattimissa). Jos tämä ei ole toteutettavissa, on lauhde johdettava eri linjoja pitkin lauhteenkäsittelylaitteeseen (Aquamat).

Monta lauhteenkäsittelijää rinnakkain

Jos kertyvän lauhteen määrä vaatii useamman lauhteenkäsittelylaitteiston, on päälauhdejohtoon ja yksittäisten käsittelylaitteiden väliin asennettava virtausjakaja (**kuva 1.2**).

Järjestelmäpaine yli 15 baaria

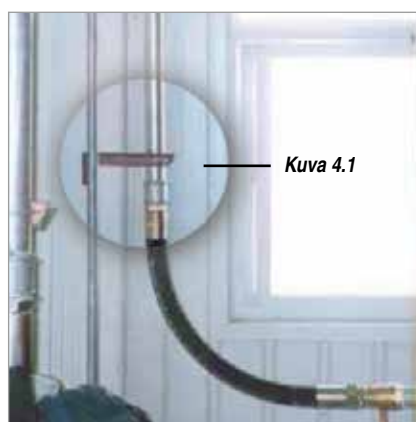
Jos järjestelmän paine on yli 15 baaria, on lauhdejohtoon asennettava paineenpoistokammio, ennen kuin lauhde johdetaan käsittelylaitteistoon.



Kuva 3a: Jäähdytyskuivaimen ja lauhteenpoistimen liitäntä (yläsuunnasta)



Kuva 3b: Kompressorin värinävaimennettu kytkentä aksiaalipaljetasaimien avulla



Kuva 4: Kompressorin värinävaimennettu kytkentä letkun avulla

Vinkki 5

Kompressorien oikea sijoitus

Sijoitus- ja ympäristöolosuhteet vaikuttavat merkittävästi paineilmatuotannon taloudellisuuteen ja luotettavuuteen. Seuraavat kolme seikkaa on erityisesti huomioitava:

1. Paineilma-aseman puhtaus

Monen paineilma-aseman puhtaudessa olisi parantamisen varaa, vaikka tilanne ei aivan niin huono olisikaan kuin **kuva 1** osoittaa. Puhtaus tarkoittaa ennen kaikkea paineilmalaitteiden suojaamista pölyltä. Muussa tapauksessa kompressorien imuilmansuodattimet tukkeutuvat



Kuva 1: Laiminlyöty paineilma-asema

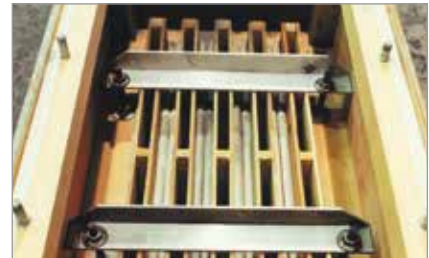
nopeasti, jolloin huollontarve lisääntyy, suoritusarvot heikkenevät ja ilmajäähdytys toimii vajaateholla. Muita seurauksia ovat ylläämpötilasta johtuvat kompressorien toimintahäiriöt sekä kuivainten tehon heikkeneminen. Viimeksi mainittu johtaa lisääntyneeseen lauhteenmuodostumiseen, mikä puolestaan saattaa vaurioittaa paineilmatyökaluja ja heikentää tuotteiden laatua. Jos sijaintipaikan valinnan suhteen ei ole vaihtoehtoja eikä ympäristön pölyltä voida välttyä, tulisi imuilma puhdistaa pussisuodattimien avulla (**kuva 2a, 2b**).

2. Sopiva lämpötila

Kylminä vuodenaikoina paineilma-asema on suojattava pakkaselta, sillä paineilma on aluksi aina kosteata. Johtoihin kertyvä lauhde jäätyisi pakkasella, mikä puolestaan aiheuttaisi tuntuvia toimintahäiriöitä. Kompressorihuoneen lämpötilan pudotessa alle +5 °C:n myös kompressoreissa käy-



Kuva 2a: Imupuolen pussisuodattimet



Kuva 2b: Kompressoripuolen pussisuodattimet

tettyjen öljyjen ja laakerirasvojen voiteluominaisuudet heikkenevät. Kesällä sen sijaan on kompressorien poistolämmöstä johdettava niin paljon pois, että sisätiloissa vallitseva lämpötila mahdollisuuksien mukaan ei nouse yli ulkolämpötilan. Muussa tapauksessa moottorit ja sähkökomponentit saattaisivat ylikuumentua ja kuivaimet paineilman puutteellisen takaisinjäähdytyksen seurauksena ylikuormittua. Tämä johtaisi lauhdemäärän kasvuun ja paineilmatyökalujen toimintahäiriöihin. Pahimmassa tapauksessa riittämätön ilmanvaihto voi johtaa lämmön patoutumiseen ja sen seurauksena kompressorien ja kuivainten pysähtymiseen, jolloin paineilmatuotanto keskeytyisi kokonaan. Tämä ehkäistään parhaiten termostaattiohjattujen jäähdytysjärjestelmien avulla, jotka automaattisesti ohjaavat

paineilma-aseman tulo-, poisto- ja kiertoilmaa (**kuva 3**).

3. Huoltoystävällinen asema

Vaikka nykyaikaisten kompressorien ja jälkikäsitteilylaitteiden huollon tarve on vähäinen, eivät ne kuitenkaan pärjää täysin ilman huoltoa. Koneet tulee sijoittaa siten, että kaikki huoltokohteet ovat helposti tavoitettavissa. Paineilmatuotannon taloudellisuus ja luotettavuus voidaan optimoida vain, jos kaikki nämä kolme kriteeriä on riittävästi otettu huomioon.



Kuva 3: Paineilma-asema; termostaattiohjattu ilmastointi

Vinkki 6

Paineilma-asemien ilmanvaihto (tuloilma)

Paineilma-aseman oikeanlainen tuloilman saanti voi merkittävästi vaikuttaa paineilman saatavuuteen ja huoltokustannusten minimointiin.

1. Sijoita tuloilma-aukot oikein

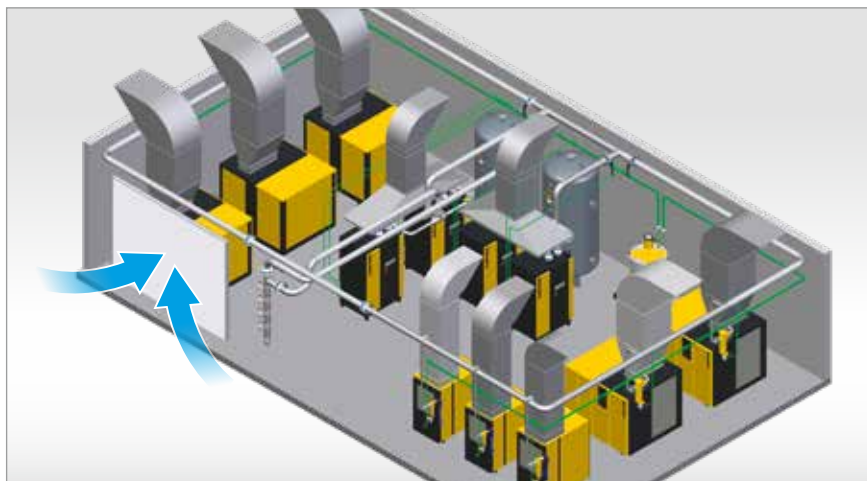
Tuloilma-aukkojen sijainnilla on ratkaiseva vaikutus paineilma-aseman tuloilman saantiin. Käyttöturvallisuuden ja toimintavarmuuden varmistamiseksi ulkoa johdetun ilman tulisi altistua mahdollisimman vähän sään vaikutuksille. Siksi on suositeltavaa sijoittaa tuloilma-aukot siten, että ne sijaitsevat paineilma-aseman ulkoseinän puolivälin alapuolella varjon puolella ja säältä suojassa.

2. Suojaa asema lialta ja haitallisilta aineilta

Varmista, että kompressorien imemä ilma sisältää mahdollisimman vähän pölyä ja muita haitallisia aineita. Näitä ovat esimerkiksi kaikki aggressiiviset tai palavat aineet ja polttomoottorien pakokaasu. Kuorma-autoliikenne tulisi pitää kaukana siltä alueelta, jolta paineilma-aseman imuilma otetaan. Jos pölyä ja epäpuhtauksia ei paineilma-aseman ympäristössä voida välttää, on ilman puhtaus turvattava erikoistoimenpitein. Jos epäpuhtauksien määrä ilmassa pysyy kohtuullisena, voivat ratkaisuksi riittää jäähdytysilmasuodattimet. Äärimmäisissä tapauksissa apua voivat tuoda ns. pölyloukut.

3. Mitoita ja varusta tuloilma-aukot oikein

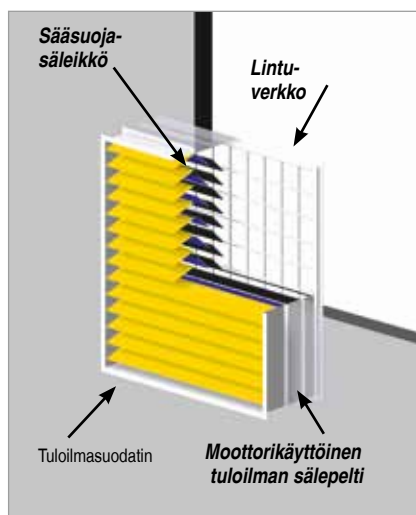
Tuloilma-aukkojen koko määräytyy ensinnäkin asemalla olevien ilmajäähdytteisten kompressorien tehon mukaan. Jokaista asennetun nimellistehon kilowattia varten tuloilma-aukon vapaata poikkipinta-alaa tulisi varata 0,02–0,03 m². Tämä vastaa jäähdytysilmamäärää 130–230 m³/h.



Kuva 2: Paineilma-aseman tuloilmajärjestelmä

Erityisesti on huomioitava, että kyse on vapaasta poikkipinta-alasta. Sääsuojasäleiköt, säätöpellit ja epäedullisessa käyttöympäristössä välttämättömät suodattimet pienentävät tätä poikkipinta-alaa huomattavasti: ilmanvaihtojärjestelmästä riippuen 30–60 %. Siksi kannattaa valita virtaus-tekniisesti mahdollisimman edullinen ilmanvaihtojärjestelmä. Suoja- ja säätölaitteiden aiheuttama poikkipinnan pienentyminen on joka tapauksessa aina kompensoitava.

Tyypillinen tuloilmajärjestelmä (kuva 1) muodostuu lintuverkosta, sääsuojasäleiköistä, tuloilmasuodattimista ja moottorikäyttöisestä tuloilman sälepelistä.



Kuva 1: Tuloilmajärjestelmän rakenne

jasäleiköistä, moottorikäyttöisestä tuloilman sälepellistä ja mahdollisista tuloilmasuodattimista. Useammasta kompressorista muodostuvilla asemilla on suositeltavaa varustaa tuloilmajärjestelmä termostaattiohjauksella ja jakaa aukot yksittäisten kompressorien sijainnin ja tehon mukaan (kuva 2).

4. Ilmanvaihto myös vesijäähdytteisille kompressoreille

Myös vesijäähdytteiset kompressorit vaativat riittävän ilmanvaihdon, sillä niiden käyttövoima tuotetaan useimmiten ilmajäähdytteisillä moottoreilla. Lisäksi ne säteilevät lämpöä. Noin 20 % vesijäähdytteisen kompressorin asennetusta tehosta on jäähdytysilman avulla johdettava ulos lämpönä. Sen vuoksi tällaisillekin asemille on asennettava vastaavasti mitoitettut tuloilma-aukot.

Vinkki 7

Paineilma-asemien ilmanvaihto (poistoilma)

Jos paineilman saatavuus halutaan turvata ja huoltokustannukset pitää kurissa, on paineilma-aseman poistoilmajärjestelmän oltava kunnossa. Ulkolämpötilan pudotessa alle +5 °C:n on kompressorihuoneen lämpötila tasattava kiertoilmalla.

1. Poistolämmön helppo poisjohtaminen

Paineilma-aseman poistoilmakanavilla on tärkeä tehtävä: ne johtavat ulos lämmenneen jäähdytysilman ja sen mukana moottorin poisto- ja kompressorien säteilylämmön (kuva 1). Nykyaikaisissa koneissa eri lähteistä peräisin oleva lämpö poistuu laitteistosta yhden ainoan poistoilma-aukon kautta (kuva 1, suurennuslasi). Aukko yhdistetään poistoilmakanavaan joustavalla liitoskappaleella (kuva 2). Ulkolämpötilan pysyessä +10 °C:n yläpuolella koko ilman mukana poistuva lämpömäärä johdetaan tällä tavoin ulos kompressorihuoneesta. Vanhemmissa koneissa on vielä usein erillisiä poistoilma-aukkoja. Tarvittaessa jokainen näistä on liitettävä omaan poistoilmakanavaansa.



Kuva 2: Kompressorin joustava kytkentä poistoilmakanavaan

2. Kokoojakanavan asennus

Jos erilliskanavat eivät rakennusteknisistä syistä ole mahdollisia, löytyy ratkaisu poistoilman kokoojakanavasta (kuva 3). Kanavaan on asennettava jokaiselle kompressorille oma säätö-

pelti, joka kompressorin pysähtyessä sulkeutuu estäen siten lämpimän ilman takaisinvirtauksen. Moottorikäyttöiset säleiköt vähentävät painehäviöitä, ja säleikön sulkeutumista ja avautumista voidaan ohjata "moottori käy" -signaalilla. Painehäviöitä voidaan ehkäistä kokoojakanavaan asennettavilla ilma-
virran ohjauslevyillä.

3. Lämpötilan tasaus kiertoilmalla

Jos ulkolämpötila voi laskea alle +5 °C:n, on järjestelmässä oltava säätöpellit, jotka aktivoituvat +10 °C:ssa, toisin sanoen avautuvat enemmän tai vähemmän lämpötilasta riippuen (kuva 1). Jos paineilma-asema aika ajoin kytketään pois päältä kokonaan, on lisälämmityksen avulla varmistettava, että kompressorihuoneen lämpötila ei putoa alle +5 °C:n.

4. Jäähdytyskuivainten ilmanvaihto

Jäähdytyskuivaimet tuottavat noin nelinkertaisen määrän lämpöä suhteessa niihin johdettuun sähkötehoon. Siksi ne tarvitsevat oman poistoilmajärjestelmän, joka on varustettu termostaattiohjatulla tuulettimella (kuvat 1 ja 3). Jos asemalla on useampia jäähdytyskuivaimia, on tuulettimessa oltava askelohjaus, joka aktivoituu +20 °C:ssa. Koska tämä poistoilmajärjestelmä ei ole jatkuvassa toiminnassa, ei poistoilmakanavaa saa asentaa suoraan kiinni kuivaimiin.

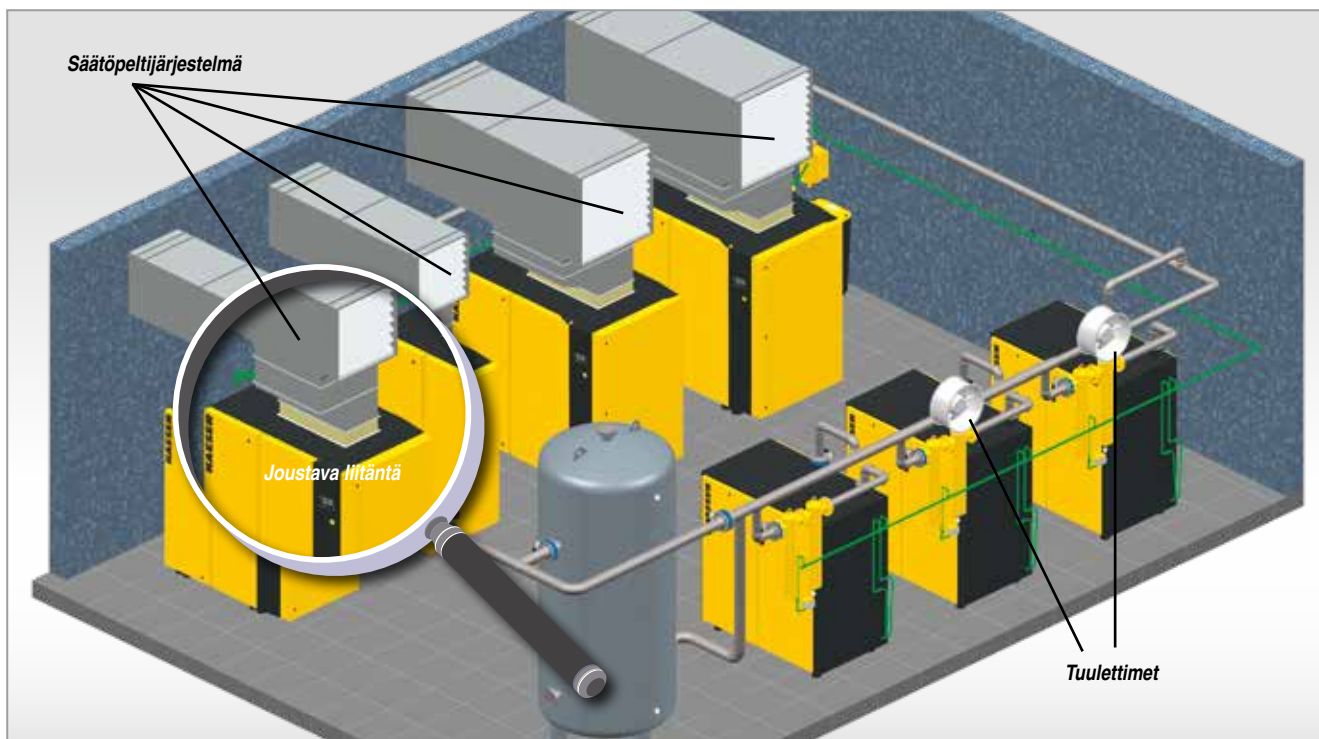
5. Poistoilmajärjestelmien oikea suunnittelu ja ohjaus

Kaikki poistoilmajärjestelmät on suunniteltava siten, että niiden aiheuttama painehäviö on pienempi kuin pienimmän siihen kytketyn koneen poistopaine, jotta tämän koneen poistoilma ei virtaisi takaisin kompressorihuoneeseen (huomioi valmistajan ilmoittamat arvot). Poistopaineen ollessa liian alhainen on järjestelmään asennettava

lisätuulettimet. Säleikköjen ohjauksen tulisi tapahtua automaattisesti huonetermostaattien ja kompressorien avulla. Jotta säleikköjen toimintahäiriöt voitaisiin tunnistaa nopeasti ja tieto välittyisi edelleen keskusohjaustasolle, on suositeltavaa kytkeä niiden valvonta pääohjausjärjestelmään (esim. SIGMA AIR MANAGERiin).

6. Erikoistapaus vesijäähdytys

Vesijäähdytteistenkään kompressorien kohdalla ilmanvaihtoa ei pidä unohtaa, sillä noin 20 % niiden asennetusta tehosta muuttuu säteilylämmöksi.



Kuva 1: Poistoilmajärjestelmä; jokaisella kompressorilla oma kanava



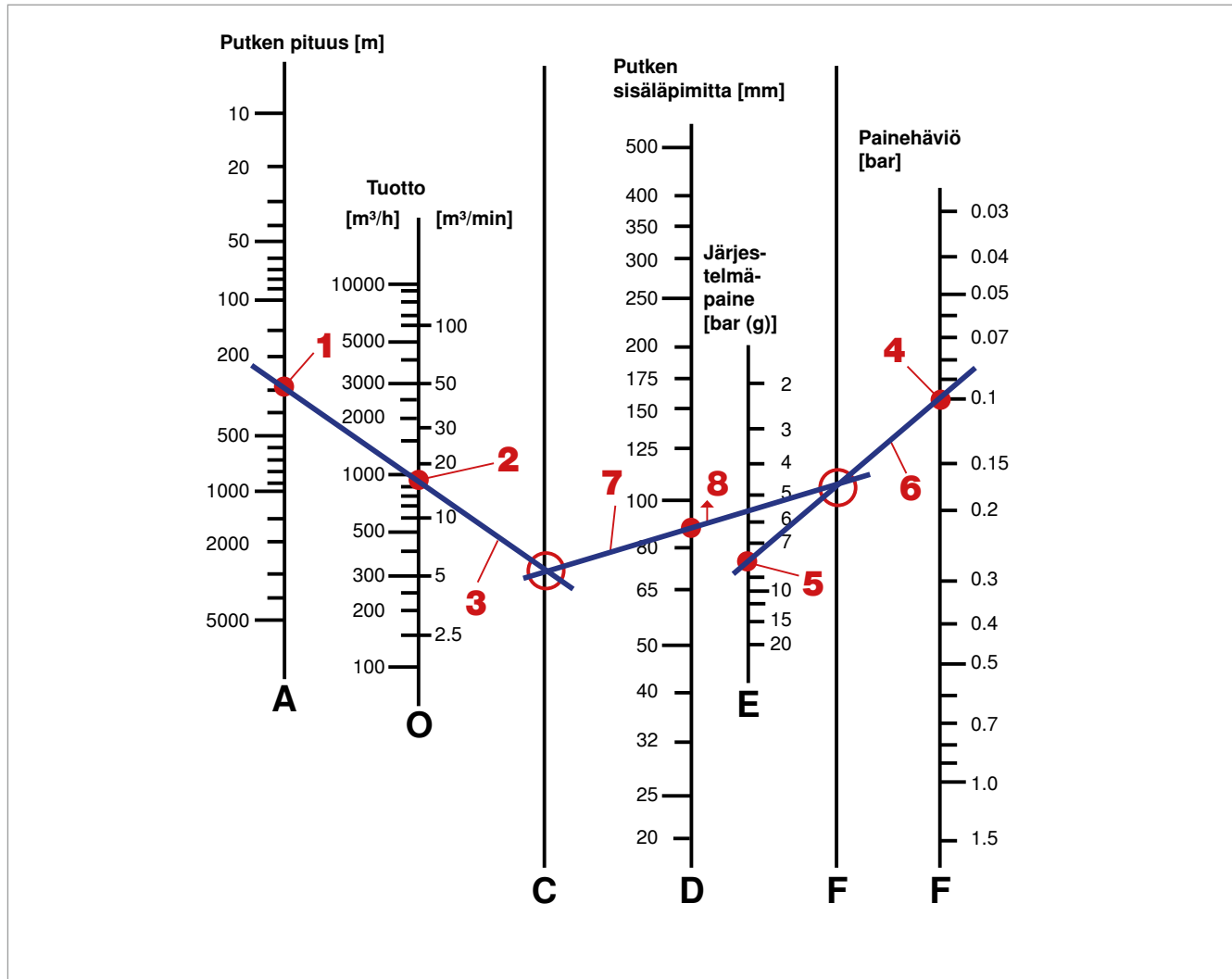
Kuva 3: Poistoilmajärjestelmä; kaikki kompressorit liitetty kokoojakanavaan

Liite

Liite 1–2

54–57

Nomogrammi putken sisäläpimitan määrittelymiseksi

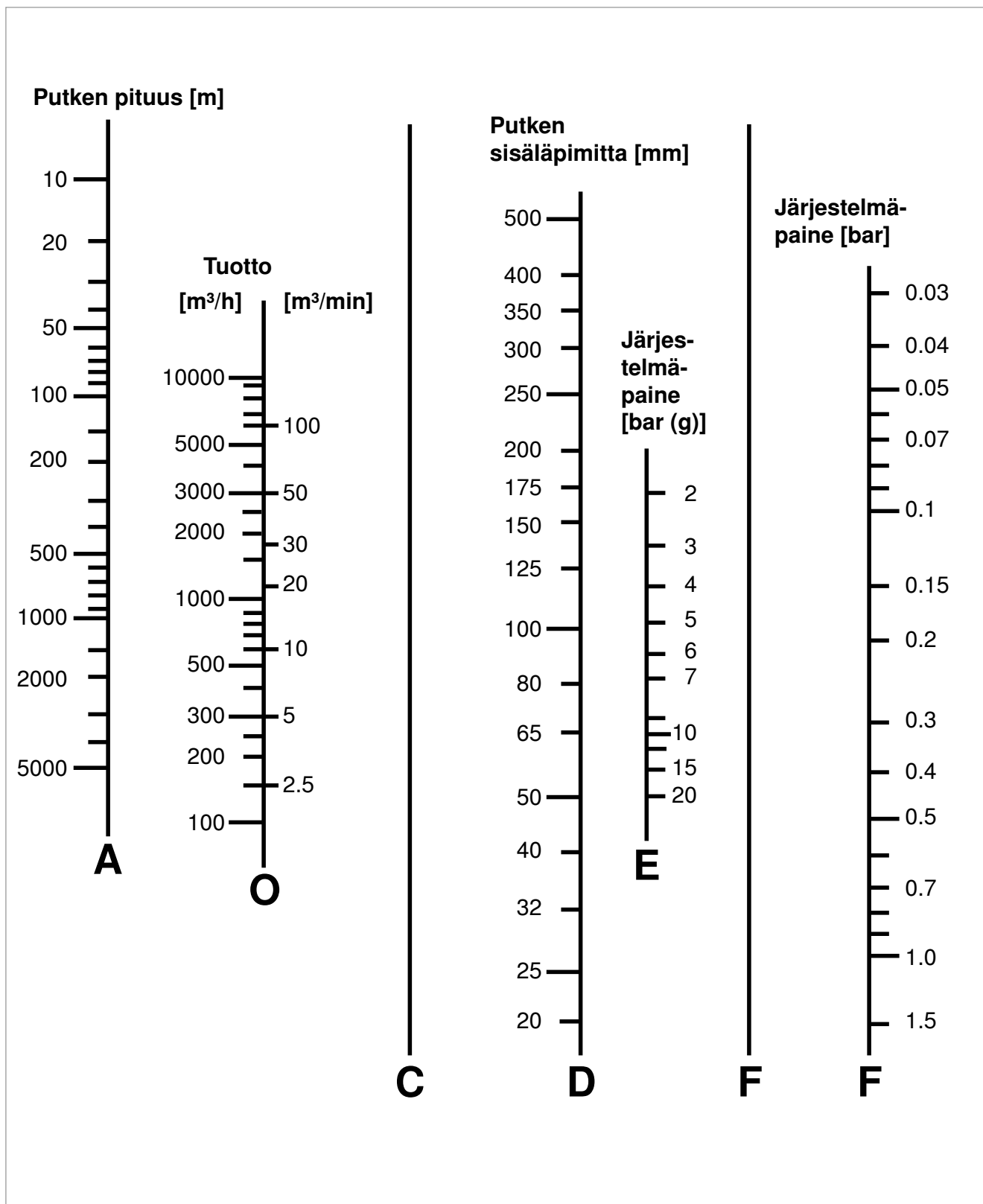


Tämän nomogrammin avulla putken sisäläpimitta voidaan määrittää seuraavasti:

Merkitse akselleille A ja B putken pituus ja tuotetun paineilman määrä. Yhdistä nämä pisteet toisiinsa suoralla, joka

jatkettuna leikkaa akselin C. Merkitse tämän jälkeen akselleille E ja G järjestelmän minimipaine ja tavoiteltu maksimaalinen painehäviö. Näiden kahden pisteen välinen suora leikkaa akselin F. Yhdistä lopuksi akselien C ja

F leikkauspisteet toisiinsa suoralla, jolloin vaadittava putken sisäläpimitta on luettavissa akselilta D.



Energiansäästöjärjestelmä – esimerkkejä kyselykaavakkeista

Energy Saving System Service



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

1.1 Air consumption of tools and machines used

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

Air consumption of all tools

= V_{Tools} m³/min

+

1.2 Other consumers

V_{Other} m³/min

+

1.3 Compressed air network leakages

V_{Leakage} m³/min

+

1.4 Reserve

V_{Reserve} m³/min

Min. req'd free air delivery from the
compressors

= V_{Total} m³/min

Energy Saving System Service



2. Are compressors already in use?

☐ **No**
☐ **Yes**

Operator's designation	Manufacturer	Model	Pressure bar _(g)	Free air delivery m³/min	Continued use planned?	
					Yes	No
					☐	☐
					☐	☐
					☐	☐
					☐	☐
					☐	☐
					☐	☐

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

= V_{Existing} m³/min

Existing compressed air treatment components:

Type/model (dryer, filter, drain etc.)	Manufacturer	Designed for m³/min	bar(g)	Remarks e.g. Incorrectly sized



CSD 105

SIGMA 





Kotonaan kautta maailman

Maailmanlaajuisesti toimiva KAESER KOMPRESSOREN on yksi suurimmista kompressorien valmistajista ja paineilmateknisten järjestelmien toimittajista. Yritys kuuluu myös Suomessa alan johtaviin toimijoihin.

Tytäryhtiöt ja yhteistyökumppanit yli 100 maassa takaavat, että asiakkailamme on käytössään huippunykyaikaiset, tehokkaat ja luotettavat paineilmalaitteistot.

Kokeneet paineilma-asiantuntijamme tarjoavat monipuolista neuvontaa ja löytävät yksilöllisen ja energiatehokkaan ratkaisun kaikkiin paineilman käyttökohteisiin. Globaali tietoverkkomme tuo asiantuntemuksemme maailmanlaajuisesti kaikkien asiakkaiden ulottuville.

Vankan ammattitaidon omaava, maailmanlaajuisesti verkottunut myynti- ja huolto-organisaatio takaa KAESER-tuotteiden ja -palveluiden saatavuuden ja käytettävyyden kaikkialla maailmassa. Suomessa KAESERilla on omia toimipisteitä kahdeksalla paikkakunnalla. Oma organisaatiotamme täydentää valtuutettujen jälleenmyyjien ja huoltoliikkeiden verkosto.



KAESER Kompressorit Oy

Tiilitie 18 – 01720 Vantaa – Puh. (09) 4132 0400

Sähköposti: info.finland@kaeser.com – www.kaeser.com