www.kaeser.com

KAESER KOMPRESSORID

Suruõhutehnika

Põhitõed ja praktilised nõuanded

Sisukord

Põhitõed

1. peatükk	Suruõhutootmise põhimõisted	4
2. peatükk	Suruõhu ökonoomne töötlemine	6
3. peatükk	Miks on vaja suruõhku kuivatada?	8
4. peatükk	Kondensaadi automaatne eemaldamine	10
5. peatükk	Kondensaadi soodne ja kindel töötlemine	12
6. peatükk	Tõhus kompressori juhtimine	14
7. peatükk	Kompressorite optimaalne, tarbimise järgi häälestamine	18
8. peatükk	Energia säästmine soojuse taaskasutamise abil	20
9. peatükk	Suruõhuvõrgu projekteerimine	22
10. peatükk	Suruõhuvõrgu saneerimine	24
11. peatükk	Suruõhu Tarbimise Analüüs (ADA) – tegeliku olukorra väljaselgitamine	26
12. peatükk	Ökonoomseima lahendi väljaselgitamine	30
13. peatükk	Kompressorjaama tõhus jahutamine	32
14. peatükk	Püsiv töökindlus ja optimaalsed kulud	34

Praktilised nõuanded

1. nõuanne	Optimaalse rõhuga säästmine	40
2. nõuanne	Õige rõhk õhuühenduses	42
3. nõuanne	Suruõhu tõhus jaotamine	44
4. nõuanne	Kompressorjaama torustik	46
5. nõuanne	Kompressorite õige paigaldamine	48
6. nõuanne	Kompressorjaamade õhutamine	49
7. nõuanne	Õhu eemaldamine kompressorjaamadest	50

Lisa

1. lisa	Nomogramm – toru siseläbimõõdu tuvastamine	50
2. lisa	Küsimustiku näited energiasäästusüsteemi teeninduse jaoks	52

Eessõna

Dipl. majandusinsener
Thomas Kaeser

Diplomeeritud majandusinsener
Tina-Maria Vlantoussi-Kaeser

Austatud lugejad,

juba rohkem kui kahetuhande aasta eest ütles kuulus Kreeka filosoof Sokrates: „Inimese jaoks on olemas vaid üks hüve – teadmised, ja vaid üks pahe – teadmatus“.

See tarkus õhtumaade ühe vaimse esiisa suust kehtib nüüd rohkem kui kunagi varem, kuna miski ei tundu olema püsivam muutusest. Tehniliste muudatustega ja majandusliku globaliseerumisega kaasnev muudatuste ulatus ja kiirus nõuavad uusi vastuseid ja lahendusi.

Senisest varem tuleb vaadata väljakutsetele kui võimalustele saavutada tulevikus veelgi suuremat edu. Üha tihedam lõimumine ja keerukus muudavad teadmistest tuleviku kõige olulisema tooraine. See kasvab eksponentsiaalselt ja on seega üksikisikule saadav ainult olulisel määral õpingutele pühendumisega ja pideva täiendkoolitusega.

Ka suruõhutehnoloogias ei piisa enam teadmisest, kuidas tuleb võimsaid kompressoreid ehitada, nõuetekohaselt paigaldada ja käitada.

Kes soovib kasutada suruõhku kui energiakandjat võimalikult tõhusalt, peab vaatama suruõhusüsteemi tervikuna. Lisaks sellele peab ta tundma süsteemis arvukaid vastastikuseid seoseid ja mõjusid ning süsteemi seotust ettevõtte keskkonnaga.

KAESER KOMPRESSOREN panustab seepärast üha rohkem oma klientide täiendkoolitamisele. See toimub mitmel viisil. KAESERi kvalifitseeritud ja praktilisi kogemusi omavad spetsialistid reisivad aastaringselt kõikidel kontinentidel, et võtta osa kongressidest, konverentsidest ja seminaridest, mis käsitlevad suruõhu tõhusat tootmist ja kasutamist. Sellele lisanduvad arvukad erialased väljundid erinevates kanalites.

Käesolevast väljaandest leiate selle ulatusliku ekspertteadmiste kokkuvõtte. Lisaks põhimõttelisele, kergesti loetavale sissejuhatusele suruõhutehnoloogia teemasse leiate siit ka mitmeid praktilisi nõuandeid süsteemi käitajale ja suruõhu tarbijale. Seejuures on näha, et sageli võivad juba väikesed suruõhusüsteemi muudatused viia selle energiakandja tuntavalt parema tõhususeni ja kättesaadavuseni.

1. peatükk

Suruõhutootmise põhimõisted

Suruõhuga on samamoodi, nagu elus ikka: kurja juur peitub pisiasjades ja väikestel põhjustel on sageli suur mõju – nii hea kui halb. Samuti paistab nii mõnigi asi lähemal vaatlusel teistmoodi kui esmapilgul. Nii võib osutuda suruõhk ebasoodsatel tingimustel kalliks, õigete raamtingimuste korral aga vägagi ökonoomseks. Esimeses peatükis käsitletakse suruõhutehnika nelja mõistet ja mida te peaksite nendega seoses silmas pidama.

1. Tootlikkus

Kompressori tootlikkus on tihendamata õhukogus, mille kompressor kokkusurutult suruõhuvõrku saadab. Selle koguse õige mõõtmine on määratud standardites DIN 1945, 1. osa, **lisa F** ja **ISO 1217**, **lisa C**. Tootlikkuse mõõtmiseks tuleb teha, nagu on näidatud **joonisel 1**. Kõigepealt tuleb mõõta temperatuuri, atmosfääri õhurõhku ja õhuniiskust tervikseadme sissevooluavas. Seejärel mõõdetakse maksimaalset töörõhku, suruõhu temperatuuri ja pumbatud õhukogust kompressorseadmel suruõhu väljumisavas. Lõpuks arvutatakse suruõhu väljumisavas mõõdetud maht V_2 ideaalgaasi võrrandi abil **(vt valemit)** sissevoolutingimustele tagasi.

Selle arvutuse tulemuseks on kompressorseadme tootlikkus. Seda ei tohi segi ajada kompressoriploki tootlikkusega (ploki tootlikkusega).

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

Palun arvestage:
DIN 1945 ja ISO 1217 annavad vaid ploki tootlikkuse.

2. Mootori võimsus

Mootori võimsuse all mõistetakse kompressori ajamimootori poolt mootorivõllile mehaaniliselt ülekantavat võimsust. Mootori võimsuse optimaalväärtus on punkt, mille juures saavutatakse elektrilise kasuteguri ja võimsusteguri cos φ optimaalne kasutamine mootorit üle koormamata. See asub mootori nimivõimsuse alas. See on kirjas elektrimootori tüübisildil.

***Tähelepanu!* Kui mootori võimsus erineb liiga paju mootori nimivõimsusest, ei tööta kompressor ökonoomselt ja/või kulub rohkem.**

3. Elektritarbimisvõimsus

Elektritarbimisvõimsus on võimsus, mida kompressori ajamimootor tarbib vooluvõrgust mootorivõlli teatud kindla mehaanilise koormuse (mootori võimsuse) korral. Elektritarbimisvõimsus on mootorikadude võrra suurem kui mootori võimsus. Selle juurde kuuluvad elektrilised ja mehaanilised kaod mootorilaagrite ja mootori õhutuse tõttu. Elektritarbimisvõimsust nimipunktis saab arvutada valemiga:

U_n, I_n, ja $\cos \varphi_n$ on kirjas elektrimootori tüübisildil.

4. Erivõimsus

Suhe juhitud elektritarbimisvõimsuse ja väljastatud õhukoguse vahel vastava töörõhu juures on erivõimsus **(joonis 2)**. Kompressorisse juhitud elektritarbimisvõimsus on kompressori kõikide

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

ajamite (nt põhimootor, ventilaatori mootor, õlipumbamootor, seisuküte jne) elektritarbimisvõimsuse summa.

Kui erivõimsust läheb tarvis ökonoomsuse arvutamiseks, tuleb vaadelda kogu kompressorisüsteemi maksimaalse töörõhu juures. Selleks tuleb jagada koond-elektritarbimisvõimsus maksimaalse rõhu juures süsteemi tootlikkusega maksimaalse rõhu korral:

5. IE – uus valem energiasäästliku ajami jaoks

1997. aasta algab USAs seadusega Energy Policy Act (EPACT), mis klassifitseerib kolmefaasiliste asünkroonmootorite energiatõhusust. Hiljem võeti ka Euroopas kasutusele tõhususe klassifitseerimine. Alates 2010. aastast kehtib elektrimootoritele rahvusvaheline IEC-standard. Klassifitseerimise ja seaduslike nõuete tagajärjel paranes tippklassi elektrimootorite energiatõhusus oluliselt. Tõhusamad mootorid pakuvad mitmeid eeliseid.

$$P_{eri} = \frac{\text{elektritarbimisvõimsus}}{\text{tootlikkus}}$$

a) Madalad töötemperatuurid

Sisemised tõhususkaod (hõõrdumine, soojenemine) võivad väiksemate mootorite puhul moodustada tarbitavast võimsusest kuni 20%, alates 160 kW mootorite puhul 4 kuni 5%. IE3/IE4-mootorid soojenevad oluliselt vähem ja kaod on seega väiksemad **(joonis 3)**.

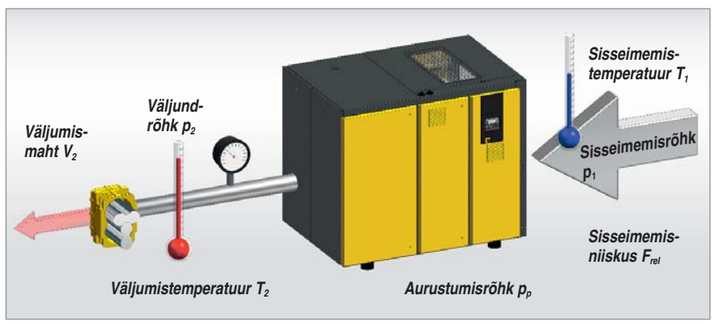
Kui tavalisel mootoril on normaalse koormuse juures temperatuuritõus umbes 80 K temperatuurivaru 20 K korral võrreldes isolatsiooniklassiga F, on IE-mootori temperatuuritõus samadel tingimustel ainult umbes 65 K ja temperatuurivaru 40 K.

b) Pikem tööiga

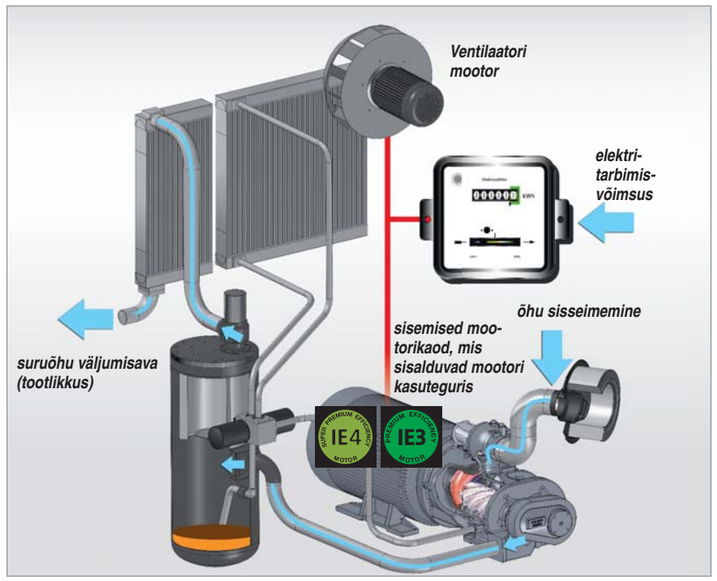
Madalama töötemperatuuri korral on mootori, laagri ja klemmikarbi termiline koormus väiksem. See pakub veel üht eelist – pikem tööiga.

c) 6% rohkem suruõhku väiksema energiakulu juures

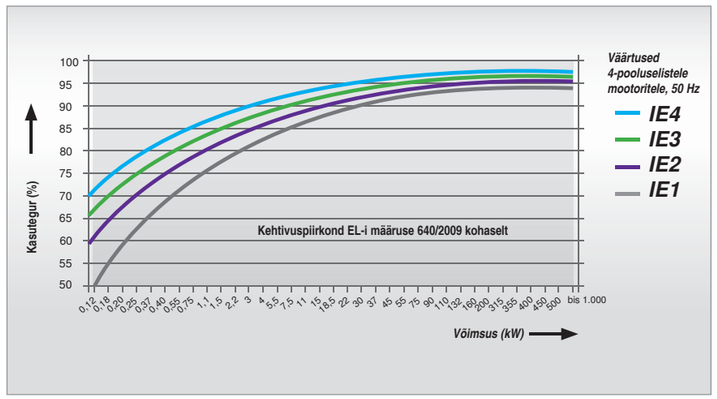
Väiksematest soojuskadudest on tingitud suurem ökonoomsus. Nii suutis KAESER leida kompressorite jaoks tõhusamad mootorid ja saavutas seeläbi kuni 6% parema tootlikkuse ja kuni 5% parema erivõimsuse. See tähendab suuremat tootlikkust, kompressori lühemaid seisuaegu ja väiksemat energiakulu toodetud suruõhukuupmeetri kohta.



Joonis 1. Tootlikkuse mõõtmine ISO 1217, lisa C (DIN 1945, lisa F) järgi



Joonis 2. Kruvikompressori põhimõtteline ülesehitus, erivõimsuse tuvastamine



Joonis 3. IEC-standard – uus tõhususe klassifikatsioon elektrimootoritele. IE3-mootorid on EL-is kohustuslikud alates 01.01.2015. Vahepeal on olemas veelgi tõhusam mootori kasuteguri klass IE4.

2. peatükk

Suruõhu ökonoomne töötlemine

Kui tekib küsimus, millise kompressorisüsteemiga saab õlivaba suruõhku kõige paremini toota, on tänapäeval – sõltumatult üksikute tootjate väidetest – kindel: kvaliteetne, õlivaba suruõhukvaliteet on saavutatav nii õlivabalt (kuivalt) tihendavate kui ka õli- või vedelikjahutusega kompressoritega. Seega peaks süsteemi valimisel olema määrav ökonoomsus.

1. Mida tähendab õlivaba suruõhk?

ISO standardi 8573-1 järgi võib suruõhu lugeda õlivabaks, kui selle õlisisaldus (koos õliauruga) jääb alla 0,01 mg/m³. See on umbes neli sajandikku kogusest, mis sisaldub atmosfääriõhus. See kogus on nii väike, et seda on vaevalt võimalik tuvastada. Kuidas on lugu aga kompressorisse imetava õhu kvaliteediga?

See oleneb olulisel määral ümbritsevatest keskkonnatingimustest. Juba normaalse koormusega piirkondades võib süsivesinikusisaldus tööstusest ja liiklusest õhkupaisatud heitmete tõttu ulatuda 4 kuni 14 mg/m³. Tööstuspiirkondades, kus kasutatakse õlisid määrde-, jahutus- ja protsessis vajaliku vedelikuna, võib olla ainuüksi mineraalõlisisaldus kaugelt üle 10 mg/m³.
Siia lisanduvad veel muud õhus sisalduvad komponendid nagu süsivesinikud, vääveldioksiid, tahm, metallid ja tolm.

2. Miks on vaja puhastada?

Iga kompressor toimib nagu hiiglaslik tolmuimeja, mis mustuse endasse imeb, õhku kokku surudes kontsentreerib ja puuduva puhastuse korral suruõhuvõrku saadab.

a) Õlivabad kompressorid

See kehtib eriti kuivalt tihendavate kompressorite puhul. Punktis 1 nimetatud koormuste tõttu pole võimalik kompressoriga, millel on ainult 3-mikronine tolmufilter, toota õlivaba suruõhku. Kuivalt tihendavatel kompressoritel pole lisaks nendele tolmufiltritele ühtki muud töötlemiskomponenti.

b) Vedelik- või õlijahutusega kompressorid

Vastupidiselt sellele neutraliseeritakse õli- ja vedelikjahutusega kompressorites agressiivsed ained jahutusvedelikus (õlis) ja tahked osakesed uhutakse suruõhust osaliselt välja.

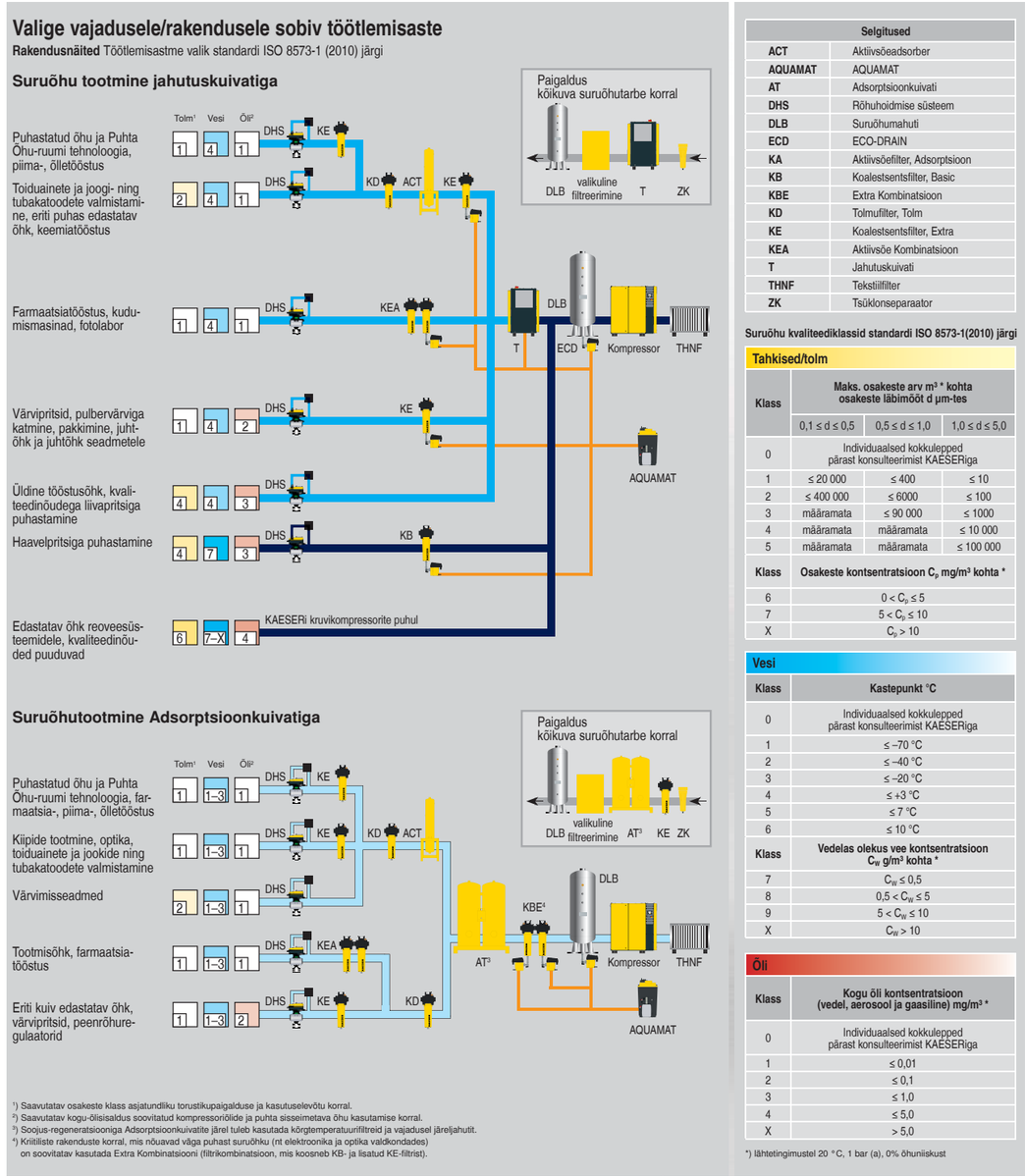
3. Töötlemiseta pole suruõhu kvaliteeti võimalik määrata

Vaatamata toodetud suruõhu suuremast puhtusest kehtib ka siin reegel: ilma puhastamata ei saa. Kuiva või õlijahutusega tihendamisega üksi ei saa tavaliste imemistingimuste puhul esineva õhusaastatuse tõttu saavutada kindla kvaliteediga suruõhku, mis vastaks standardile ISO 8573-1.
Suruõhu tootmise ökonoomsus oleneb rõhuvahemikust ja tootlikkus vahemikust ning sellest omakorda vajalik kompressoritüüp. Iga otstarbekohase suruõhutöötlemise aluseks on piisav kuivatamine. Tavaliselt on energiasäästlik jahutuskuivatiga kuivatamine ökonoomseim meetod **(vt ka 3. peatükki, lk 9)**.

4. Töötlemine KAESERi Puhta-Õhu-süsteemiga

Moodsad vedeliku- ja õlijahutusega kruvikompressorid on umbes 10% tõhusamad kui kuivalt tihendavad. KAESERi poolt väljatöötatud vedelik- või õlijahutusega ja kuivalt tihendavatele kompressoritele mõeldud Puhta Õhu-süsteem võimaldab kulusid säästa lisaks kuni 30%. Sellega saavutatav jääkõlikogus on väiksem kui 0,003 mg/m³, seega oluliselt alla piirmäära, mida ISO-standard 1. kvaliteediklassi jaoks nõutab (mis puudutab jääkõli sisaldust). Süsteem hõlmab kõiki nõutava kvaliteediga suruõhu tootmiseks vajalikke töötlemiskomponente.

Olenevalt rakendusest kasutatakse Jahutus- ja Adsorptsioonkuivateid **(vt ka 3. peatükki, lk 9)** ning erinevaid filtrikombinatsioone. Nii on võimalik usaldusväärselt ja soodsalt toota suruõhku alates kuivast, osakestevabast kuni tehniliselt õlivaba ja steriilseni, kõiki ISO-standardi järgi kindlaks määratud suruõhu kvaliteediklassidele **(joonis 1)**.



Selgitused	
ACT	Aktiivsöeadsorber
AQUAMAT	AQUAMAT
AT	Adsorptsioonkuivati
DHS	Rõhuhoidmise süsteem
DLB	Suruõhumahuti
ECD	ECO-DRAIN
KA	Aktiivsöefilter, Adsorptsioon
KB	Koalestsentsfilter, Basic
KBE	Extra Kombinatsioon
KD	Tolmufilter, Tolm
KE	Koalestsentsfilter, Extra
KEA	Aktiivsöe Kombinatsioon
T	Jahutuskuivati
THNF	Tekstiilfilter
ZK	Tsüklonseparaator

Suruõhu kvaliteediklassid standardi ISO 8573-1(2010) järgi

Tahkised/tolm

Klass	Maks. osakeste arv m³ * kohta osakeste läbimõõt d µm-tes		
	0,1 ≤ d ≤ 0,5	0,5 ≤ d ≤ 1,0	1,0 ≤ d ≤ 5,0
0	Individuaalsed kokkulepped pärast konsulteerimist KAESERiga		
1	≤ 20 000	≤ 400	≤ 10
2	≤ 400 000	≤ 6000	≤ 100
3	määramata	≤ 90 000	≤ 1000
4	määramata	määramata	≤ 10 000
5	määramata	määramata	≤ 100 000

Klass	Osakeste kontsentratsioon C_p mg/m³ kohta *
6	$0 < C_p \leq 5$
7	$5 < C_p \leq 10$
X	$C_p > 10$

Vesi

Klass	Kastepunkt °C
0	Individuaalsed kokkulepped pärast konsulteerimist KAESERiga
1	≤ –70 °C
2	≤ –40 °C
3	≤ –20 °C
4	≤ +3 °C
5	≤ 7 °C
6	≤ 10 °C

Klass	Vedelas olekus vee kontsentratsioon C_W g/m³ kohta *
7	$C_W \leq 0,5$
8	$0,5 < C_W \leq 5$
9	$5 < C_W \leq 10$
X	$C_W > 10$

Õli

Klass	Kogu õli kontsentratsioon (vedel, aerosool ja gaasiline) mg/m³ *
0	Individuaalsed kokkulepped pärast konsulteerimist KAESERiga
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	≤ 1,0
4	≤ 5,0
X	> 5,0

*) lähtetingimustel 20 °C, 1 bar (a), 0% õhuniiskust

***Joonis 1.** Kasutaja leiab igast uuest KAESERi kruvikompressorite prospektist ülaltoodud skeemi. Nii on võimalik ainsa pilguga välja selgitada rakenduse järgi õige seadmekombinatsioon.*

3. peatükk

Miks on vaja suruõhku kuivatada?

Probleem on õhus– ja seda sõna otseses mõttes. Kui atmosfääriõhk jahtub, nagu pärast kompressoris tihendamist, kondenseerub veeaur välja. Nii toodab kompressor, mille tootlikkus on 5 m³/min (võttes aluseks keskkonnatemperatuuri +20 °C, suhtelise õhuniiskuse 70% ja õhurõhu 1 bar_{abs}) kaheksatunnises vahetuses umbes 30 liitrit vett. See tuleb suruõhusüsteemist eemaldada, et ennetada tööhäireid ja kahjustusi. Otstarbekohase töötlemise osa on soodne ja keskkonnasäästlik suruõhu kuivatamine.

1. Näide praktikast

Kui vedelikjahutusega kruvikompressor imeb temperatuuril 20 °C ümbritseva keskkonna rõhust madalama rõhu juures minutis 10 m³ õhku suhtelise õhuniiskusega 60%, siis sisaldab see õhk umbes 100 g veeauru. Kui õhku tihendatakse suhtes 1 : 10 absoluutse rõhuni 10 bar, siis on tulemuseks 1 normaalkuupmeeter. Pärast tihendamist suudab õhk temperatuuril 80 °C mahutada aga 290 g vett kuupmeetri kohta. Kuna on olemas ainult umbes 100 g, on õhk, mille suhteline niiskus on umbes 35%, üsna kuiv ja kondensaati ei teki. Kompressori järeljahuti vähendab suruõhu temperatuuri 80 pealt umbes 30 °C peale.

Seejärel suudab kuupmeeter õhku võtta veel umbes 30 g vett: veeülejääk u 70 g/min kondenseerub ja eraldatakse. 8-tunnise tööpäeva jooksul tekib seega umbes 35 liitrit kondensaati. Ülejäänud 6 liitrit päevas tekivad järeleühendatud jahutuskuivati kasutamisel. Selles jahutatakse suruõhk esmalt +3 °C peale ja hiljem soojendatakse tagasi ümbritseva keskkonna temperatuurile. See vähendab niiskuse küllastust umbes 20% peale ja tulemuseks on parema kvaliteediga, suhteliselt kuiv suruõhk **(joonis 1)**.

2. Põhjus: õhuniiskus

Meid ümbritsev õhk on rohkemal või vähemal määral niiske, kuna sisaldab alati teatud osa vett. Niiskus oleneb vastavast temperatuurist. Nii seob näiteks 100% veeauruga küllastunud õhk temperatuuril +25 °C peaaegu 23 g vett kuupmeetri kohta.

3. Kondensaadi moodustumine

Kondensaat tekib, kui õhuvool väheneb ja ühtlasi õhutemperatuur langeb. Sellega väheneb õhu veeimamisvõime. Just nii juhtub pärast kompressoriplokis ja kompressori järeljahutis tihendamist.

4. Olulised mõisted – lühiseletustega

a) Absoluutne õhuniiskus

Absoluutne õhuniiskus näitab veeauru massi antud õhu ruumalas ja ühikutes g/m³

b) Suhteline õhuniiskus (F_{rel})

Suhteline õhuniiskus näitab küllastumise astet, st õhu tegeliku veeaurusisalduse ja vastava küllastumispunkti suhet (100% F_{rel}). See oleneb temperatuurist: soe õhk mahutab rohkem veeauru kui külm.

c) Õhu kastepunkt

Õhu kastepunkt on temperatuur, mille juures õhk atmosfäärirõhu juures (keskkonnatingimused) saavutab 100-protsendilise küllastatusastme (F_{rel}).

d) Rõhu kastepunkt

Rõhu kastepunkt tähendab temperatuuri, mille juures suruõhk oma absoluutrõhu juures saavutab niiskuse küllastumispunkti (100% F_{rel}). Ülaltoodud näite puhul tähendab: 10-baarise (a) rõhu all oleva õhu absoluutne niiskus rõhu kastepunkti +3 °C juures on 6 g normaalkuupmeetri kohta. Kui näites toodud normaalkuupmeetri rõhku 10 baari (a) alandada atmosfäärirõhule, siis suureneb selle maht kümnekordselt. Veeaurusisaldus 6 g jääb samaks ja jaguneb nüüd kümnekordse mahu ulatuses. Seega sisaldab iga kuupmeeter alandatud rõhuga õhku veel ainult 0,6 g veeauru. See vastab õhu kastepunktile –24 °C.

Joonis 1. Suruõhu tootmisel, salvestamisel ja töötlemisel tekib kondensaat (andmed kehtivad näitajate 10 m³/min, 10 bar_{abs}, 8 h, 60% F_{rel} ja 20 °C puhul)

5. Ökonoomne ja keskkonnasõbralik suruõhu kuivatamine

Jahutus- või Adsorptsioonkuivatiga?

Külmaaineid puudutavad keskkonnaalased uued määrused ei muuda asjaolu, et Adsorptsioonkuivatid ei kujuta endast ei ökonoomsuse ega keskkonnasõbralikkuse poolest alternatiivi Jahutuskuivatitele. Viimased tarbivad nimelt kõigest 3% energiast, mida vajab kompressor suruõhu tootmiseks, Adsorptsioonkuivatid aga seevastu 10 kuni 25% või isegi rohkem. Seetõttu tuleks kasutada üldjuhul Jahutuskuivatit.

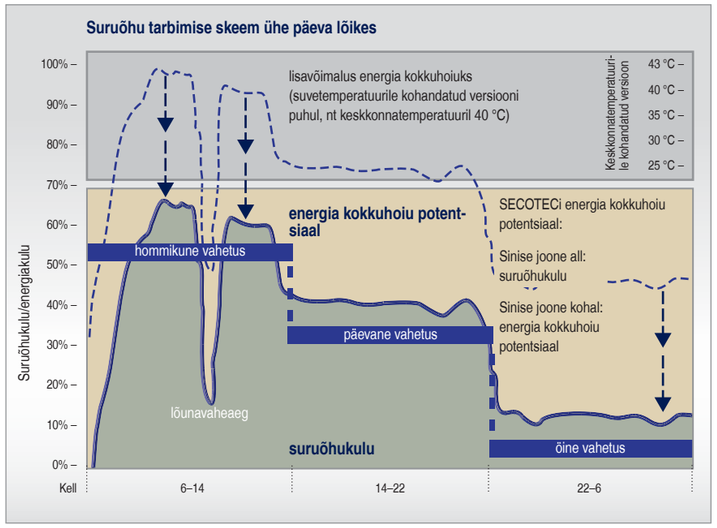
Adsorptsioonkuivatite kasutamine on mõistlik ainult siis, kui vaja läheb ülikuiva suruõhukvaliteeti kastepunktidega kuni –20, –40 või –70 °C **(joonis 2)**. Tööpäeva jooksul mõjutavad suruõhusüsteeme sageli tugevad kõikumised tarbimises. See kehtib ka kogu aasta jooksul toimuva töö puhul, seejuures lisanduvad sellele veel tugevad temperatuurikõikumised. Seepärast tuleb suruõhukuivatid valida halvimate võimalike tingimuste jaoks: madalaim

Kuivatusmeetod	Rõhu kastepunkt °C	tüüpiline erivõimsustarve kW / m³/min **)
Jahutuskuivati	+3	0,1
HYBRITEC	**+3 / –40 *) –40**	**0,2 0,3**
soojusregeneratsiooniga Adsorptsioonkuivati	**–40**	**0,5–0,6**
külmgeneratsiooniga Adsorptsioonkuivati	–20 –70	1,4–1,6

Joonis 2. Olenevalt vajalikust rõhu kastepunktist saab kasutada erinevaid kuivatusmeetodeid

rõhk, kõrgeim suruõhukulu ning kõrgeim keskkonnatemperatuur ja suruõhu sisselasketemperatuur.

Varem lahendati see ülesanne pidevalt töötava kuivatiga, kuid see põhjustas eriti just osalise koormuse puhul suurt energiakadu. Seevastu moodsad



Joonis 3. Energiasäästupotentsiaalid katkestuste reguleerimisega Jahutuskuivatite puhul

Jahutuskuivatid tõhusa katkestuste reguleerimisega kohandavad oma energiakulu muutuvate tingimuste järgi, säilitades seejuures ühtlaselt hea suruõhukvaliteedi **(joonis 3)**. Aastas saate keskmiselt sedasi säästa üle 50% energiat.

Tõhusa energiakasutusega tehnoloogia kasutamine on eriti oluline, et saavutada miinuskraadide rõhu kastepunkte, kuna selleks tarvitatud Adsorptsioonkuivatite energiavajadus on väga kõrge. Sama soodsa ja energiatõhusa kombineerimismeetodiga, HYBRITEC-süsteemiga, õnnestus siin energiakulu oluliselt vähendada. Süsteem koosneb Jahutuskuivatist ja Adsorptsioonkuivatist. Esmalt vähendab Jahutuskuivati sissevoolavat suruõhku energiasäästlikult rõhu kastepunktini +3 °C. Sedasi eelkuivatatult jõuab see Adsorptsioonkuivatisse, mis vajab nüüd oluliselt vähem energiat, et eemaldada õhust veelgi rohkem niiskust rõhu kastepunktil –40 °C.

4. peatükk

Kondensaadi automaatne eemaldamine

Kondensaat on suruõhu vältimatu kõrvalsaadus Nii toodab juba 30 kW kompressor, mille tootlikkus on 5 m³/min, keskmiste töötingimuste juures umbes 20 liitrit kondensaati vahetuse jooksul. See tuleb suruõhusüsteemist eemaldada, et vältida tööhäireid ja korrosioonikahjustusi. Sellest peatükist saate teada, kuidas kondensaati õigesti eemaldada ja seejuures oluliselt kulusid vähendada.

Joonis 1. Igas suruõhusüsteemis tekib teatud kohtades kondensaati

1. Kondensaadi äravool

Igas suruõhusüsteemis tekib teatud kohtades erineva reostusastmega kondensaati **(joonis 1)**. Usaldusväärne kondensaadi äravool on kindlasti vajalik. See omab olulist mõju suruõhu kvaliteedile, töökindlusele ja iga suruõhuseadme ökonoomsusele.

a) Kondensaadi kogumis- ja ärajuhtimiskohad

Kondensaadi kogumiseks ja ärajuhtimiseks kasutatakse esmalt suruõhusüsteemi mehaanilisi elemente. Seal tekib juba 70 kuni 80% kogu kondensaadist – kui kompressorid on korraliku järeljahutusega.

Tsüklonseparaator.
See mehaaniline eraldi lahutab kondensaadi tsentrifugaaljõu abil õhust **(joonis 2)**. Optimaalseks tööks peab see olema alati ühendatud mõne suruõhutootjaga.

Vahejahuti.
Kaheastmelistel vahejahutiga kompressoritel tekib kondensaat ka vahejahuti separaatoris.

Suruõhumahuti.
Lisaks põhifunktsioonile salvestina eraldab suruõhumahuti raskusjõu abil kondensaadi õhust **(joonis 1).** Piisava suuruse korral (kompressori tootlikkus / min: 3 = mahuti minimaalne suurus m³) on see sama tõhus kui tsüklonseparaator.

Kuid erinevalt sellest saab survepaaki kasutada kompressorjaama tsentraalses suruõhu kogumistorus, kui õhu sissevooluava on all ja väljavooluava ülal. Suure soojuskiirguspinna tõttu jahutab mahuti suruõhku veelgi enam ja muudab seeläbi kondensaadi eraldamist tõhusamaks.

Veekott suruõhutorus.
Kondensaadi kindlaksmääramata voolamise vältimiseks peab suruõhutoru olema niiskuse piirkonnas paigaldatud nii, et kõik juurde- ja väljavoolud on ühendatud ülevalt või küljelt.

Alla suunatud määratud kondensaadi väljavoolud juhivad kondensaadi põhitorust ära. Kui õhuvoolu kiirus on 2 kuni 3 m/s ja paigaldus korralik, eraldab veekott (joonis 3) suruõhusüsteemi niiskuse piirkonnas tekkiva kondensaadi niisama efektiivselt kui suruõhumahuti **(joonis 1)**.

b) Suruõhukuivati

Juba nimetatute kõrval on veel kondensaadi kogumise ja eemaldamise lisakohti suruõhu kuivatuse piirkonnas.

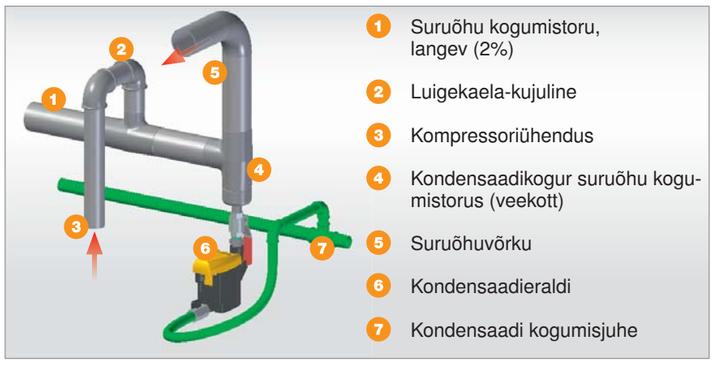
Jahutuskuivati.
Suruõhu jahutamisel ja seeläbi saavutatud kuivatamisel tekib jahutuskompressoris veel rohkem kondensaati.

Adsorptsioonkuivati.
Suruõhutorus jahutamisel tekib juba Adsorptsioonkuivati eelfiltri juures kondensaati. Adsorptsioonkuivatis endas esineb vesi kuivatis valitsevate osaliste rõhutingimuste tõttu ainult auruna.

c) Detsentraalne separaator

Tsentraalse suruõhukuivatuseta tekib suur kogus kondensaati vahetult enne suruõhutarbijaid paigaldatud veeseparaatorites; sellega kaasneb suur hooldusvajadus.

Joonis 2. Kondensaadi äravooluga Tsüklonseparaator



Joonis 3. Veekott koos kondensaadi äravooluga suruõhusüsteemi niiskes kohas

2. Eraldussüsteemid

Praegusel ajal on kasutusel peamiselt kolm süsteemi.

a) Ujuk-äravool

Ujuk-äravool kuulub vanimate eemaldussüsteemide hulka ning see võeti kasutusele täiesti ebaökonoomse ja ebakindla manuaalse eemalduse asemel. Kuid ka kondensaadi ärajuhtimine ujukiga **(joonis 4)** on suruõhu mustuse tõttu väga suure hooldusvajadusega ja pole väga töökindel.

b) Magnetventiil

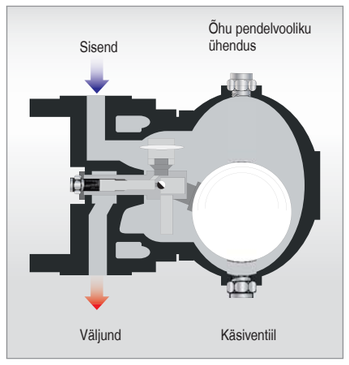
Aegjuhtimisega magnetventiilid on küll töökindlamad kui ujuk-äravool, aga neid tuleb siiski regulaarselt reostuse suhtes kontrollida. Ventiili valesti reguleeritud avanemisajad põhjustavad lisaks ka suruõhukadusid, millega kaasneb suurem energiatarve.

c) Nivoojuhtimisega kondensaadi äravool

Tänapäeval kasutatakse valdavalt intelligentse nivoojuhtimisega kondensaadieraldeid **(joonis 5)**. Teie õnneks asendab elektrooniline äravool rikkeohtlikku ujukiga talitlust. Nii on välistatud reostusest või mehaanilisest kulumistest põhjustatud tõrked. Lisaks aitavad täpselt väljaarvutatud ja kohandatud ventiili avamisajad usaldusväärselt vältida suruõhukadusid. Lisaeeliseks on automaatne enesekontroll ja võimalik signaaliedastus tsentraalsele juhttehnikale.

d) Õige paigaldus

Kondensaadieemaldussüsteemi ja kondensaadieraldi vahele tuleks alati paigaldada üks lühike toru koos kuulkraaniga **(joonis 2 ja 3)**.
Nii on võimalik kondensaadieraldit hooldustööde ajal sulgeda ja suruõhuseade saab häireteta edasi töötada.



Joonis 4. Suruõhukondensaadi ujuk-äravool

Joonis 5. Kondensaadi äravool elektroonilise nivoojuhtimisega (mudel ECO-DRAIN)

5. peatükk

Kondensaadi soodne ja kindel töötlemine

Suruõhutootmisel vältimatult tekkiva kondensaadi puhul pole mingil juhul tegu ainult kondenseerunud veeauruga. Iga kompressor käitub nagu ülisuur tolmuimeja. See imeb saastunud ümbritsevast õhust mustust ja suunab selle töötlemata suruõhu kaudu kontsentreeritud kujul kondensaadile edasi.

1. Miks on vaja kondensaati töödelda?

Suruõhutarbijad, kes suunavad kondensaadi lihtsalt kanalisatsiooni, riskivad trahvidega. Põhjus: suruõhutootmisel tekkiv kondensaat on plahvatusohtlik segu. Keskkonna reostusest tulenevalt sisaldab see lisaks tolmuosakestele ka süsivesinikke, vääveldioksiidi, vaske, pliid, rauda jm. Saksamaal tuleb suruõhuseadmete kondensaadi käitlemisel järgida Veemajandusseadust. See näeb ette, et saasteaineid sisaldavat vett tuleb töödelda „Tehnika üldtunnustatud reeglite kohaselt" (§ 7a WHG). See puudutab igasugust suruõhukondensaati – ka õlivabalt tihendavate kompressorite oma.

Kõikide saasteainete ja pH-väärtuste kohta kehtivad piirväärtused. Need on erinevates valdkondades ja liidumaades erinevad. Näiteks süsivesinike kohta kehtiv maksimaalne lubatud väärtus on 20 mg/l; keskkonda juhitava kondensaadi pH-väärtuse vahemik on 6 kuni 9.

2. Kondensaadi omadused (joonis 1)

a) Dispersioon

Suruõhu kondensaadil võib olla erinevaid omadusi. Dispersiooni esineb harilikult vedelikjahutusega kruvikompressorites, mida käitatakse sünteetiliste jahutusvedelikega, nagu Sigma Fluid S460. Selle kondensaadi pH-väärtused on tavaliselt 6 ja 9 vahel. Seda võib käsitleda seega pH-neutraalsena. Atmosfääriõhust pärit reostus koguneb selles kondensaadis pinnalujuvasse, veest kergesti eemaldatavasse õlikihti.

b) Emulsioon

Emulsiooni olemasolust annab nähtavalt märku piimjas vedelik, mis ka mitme päeva pärast kaheks ei jagune. See kondensaadi omadus tekib sageli kolb-, kruvi- ja mitmekambrilistes kompressorites, mida käitatakse tavaliste õlidega. Ka siin on õliosakestes saasteained.

Tugeva, stabiilse segunemise tõttu pole võimalik õli ja vett, aga ka sisseimetud reostust, nagu tolmu ja raskemetalle raskusjõu abil eraldada. Kui õli sisaldab estreid, võib kondensaat olla agressiivne ja see tuleb neutraliseerida. Sellist kondensaati on võimalik töödelda ainult deemulgeerimisseadmetega.

3. Väline käitlus

Loomulikult on võimalik kondensaat kokku koguda ja lasta seda spetsiaalettevõttes utiliseerida. Kuid jäätmekäitluskulud on, olenevalt kondensaadi omadustest, umbes 40 kuni 150 €/m³. Arvestades tekkivat kondensaadikogust, peaks niisiis olema tööstuslik töötlemine enamasti rentaabel. Sellel on lisaks ka eelis, et algsest kondensaadikogusest jääb järele vaid umbes 0,25%, mis tuleb keskkonnatehniliselt utiliseerida.

4. Töötlemismeetodid

a) Dispersioonide jaoks

Sellist liiki kondensaadi töötlemiseks piisab tavaliselt kolmekambrilisest separaatorist, millel on kaks eelsepareerimiskambrit ja üks aktiivsöekamber **(joonis 2)**. Tegelik eraldusprotsess toimub raskusjõu mõjul. Seadme eralduskambris vedeliku pinnale ujuv õlikiht juhitakse kogumisnõusse ja suunatakse vanaõlina jäätmekäitlusse.

Allesjääv vesi filtritakse seejärel kahes järgus ja juhitakse seejärel kanalisatsiooni. Võrreldes utiliseerimisega eriettevõttes on võimalik raskusjõu toimel toimuva separeerimisega umbes 95% kuludest kokku hoida.

Praegu pakutakse seadmeid kompressoritele, mille tootlikkus on kuni 105 m³/min. Loomulikult on suurema vajaduse korral võimalik paralleelselt ühendada rohkem seadmeid.

b) Emulsioonide jaoks

Stabiilsete emulsioonide töötlemisel kasutatakse tänapäeval peamiselt kahte tüüpi seadmeid.

Membraansüsteemid töötavad ultrafiltratsiooni põhimõttel nn Cross-Flow-meetodil. Seejuures voolab eelfiltreeritud kondensaat üle membraanide.

Joonis 1. Kõik kompressorid imevad keskkonna õhust sisse veeauru ja mustust. Tekkiv suruõhukondensaat (joonis 1, 1) tuleb seega puhastada õlist ja muudest kahjulikest ainetest (joonis 1, 2), enne kui see on ärajuhitav puhta veena (joonis 1, 3)

Joonis 2. Suruõhutehnika kondensaadi eraldussüsteem, mis töötab raskusjõu põhimõttel (toimimisjoonis)

Osa vedelikust tungib neist läbi ja voolab seadmest välja puhta veena, mida võib keskkonda suunata. Teine tüüp seadmeid töötab pihustatud eraldusainega. See seob õliosakesi, mille tagajärjel moodustuvad hästi filtritavad makrohelbed. Teatud poorisuurusega filtrid püüavad helbed kinni. Väljavoolavat vett võib lasta kanalisatsiooni.

6. peatükk

Tõhus kompressori juhtimine

Ainult siis, kui kompressorite tootlikkus on õigesti kohandatud kõikuva suruõhuvajaduse alusel, saab vältida energiakulukaid ja seega kalleid osalise koormusega faase. Õige kompressorijuhtimine on energiatõhususe saavutamiseks ülimalt oluline.

Kui kompressorite koormusaste on väiksem kui 50%, on energiaraiskamisalarm kõrgeim. Paljud käitajad ei teagi seda, kuna nende kompressoritel on küll töötunniloendur, kuid puudub täiskoormusel töötamise tundide loendur. Abiks on korralikult häälestatud juhtimissüsteemid: tõstes koormusmäära 90% peale või veel kõrgemale, aitavad nad energiat säästa 20% ja enam.

1. Sisemine juhtimine

a) Täiskoormuse/tühikäigu reguleerimine

Enamikus kompressoritest kasutatakse ajamitena kolmefaasilisi asünkroonmootoreid. Mootorite lülitussagedus väheneb suurema võimsuse korral. See ei vasta lülitussagedusele, mida on vaja, et kompressorit väikese lülitusdiferentsiga tegeliku suruõhuvajaduse järgi sisse ja välja lülitada. Need lülitused vabastavad ainult kompressori rõhu all olevaid osi koormusest. Mootor töötab veel mõnda aega **(joonis 1)**. Selleks vajalikku energiat tuleb käsitleda kaona. Sellise lülitusega kompressorite energiatarve on tühikäigufaasis ikkagi umbes 20% täiskoormuse võimsusest.

Moodsad arvutiga optimeeritud reguleerimissüsteemid, nagu nelikreguleerimine optimaalse töörežiimi automaatse valimisega **(joonis 2)**, dünaamiline reguleerimine sõltuvalt ajamimootori temperatuurist **(joonis 3)** ja muutlik reguleerimine muutlikult arvutatud tühikäiguaegadega **(joonis 4)**, aitavad kulukat tühikäiku vältida – pakkudes mootorile täielikku kaitset.

Proportsionaalreguleerimine imemispoolse piiramisega pole soovitatav, kuna sellisel juhul vajab kompressor 50% tootlikkuse juures veel 90% energiast, mida ta vajaks 100% tootlikkuse juures.

b) Sagedusmuundamine

Kompressoritel, mille pöörlemissagedust reguleeritakse sagedusmuunduritega **(joonis 5)**, pole reguleerimisvahemiku ulatuses püsivat efektiivsust. See väheneb nt reguleerimisvahemikus 30 kuni 100% 90 kW mootori puhul 94% pealt 86% peale. Lisanduvad veel kaod sagedusmuunduris ja kompressorite mittelineaarne võimsuskasutus. Sagedusmuunduriga reguleeritud kompressoreid tuleb käitada reguleerimisvahemikus 40–70%: see on optimaalne ökonoomsusvahemik.
Need komponendid peavad olema loodud 100-protsendilise koormuse jaoks. Valesti kasutades võivad sagedusmuundurid muutuda seega energiaröövliteks, ilma et käitaja seda märkaks. Sagedusmuunduri kasutamine pole võimalikult energiasäästliku kompressorikäituse imevahend.

2. Suruõhuvajaduse klassifitseerimine

Tavaliselt jaotatakse kompressoreid funktsioneerimise alusel baaskoormuse, keskmise koormuse, tippkoormuse või ooterežiimiga seadmeteks.

a) Baaskoormuse vajadus

Baaskoormuse vajaduse all mõistetakse tootmiseks vajalikku suruõhukogust, mida ettevõte vajab pidevalt.

b) Tippkoormuse vajadus

Tippkoormuse vajadus on tarbimise kõrghetkedel vajalik suruõhukogus. See on tarbijate erinevate nõudmiste tõttu erineva suurusega.

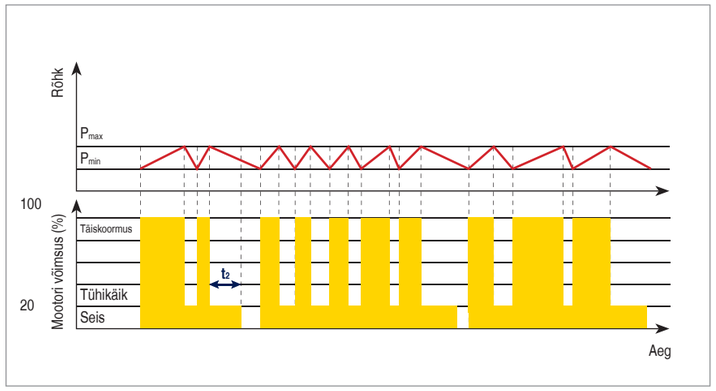
Erinevate koormusfunktsioonide võimalikult heaks täitmiseks peavad kompressorid olema varustatud erinevate juhtimissüsteemidega.
Juhtimissüsteemid peavad suutma ülemjuhtimissüsteemi väljalangemisel ülejäänud kompressoreid ja sellega suruõhuvarustust töös hoida.

3. Masinaülene juhtimissüsteem

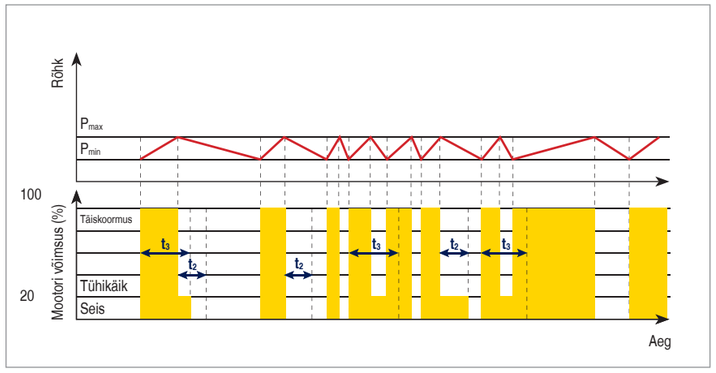
Moodsad masinaülesed juhtimissüsteemid veebipõhise tarkvaravaga ei piirdu ainult kompressorite töö koordineerimisega kompressorjaama optimaalse energiatõhususe tagamiseks. Lisaks sellele suudavad nad koguda andmeid ökonoomsuse kohta ja dokumenteerida suruõhuvarustuse tõhusust.

a) Seadmete jagamine

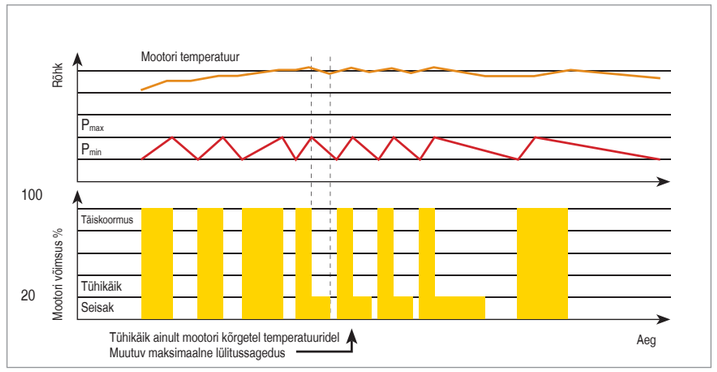
Jagamine on sama või erineva võimsusega ja juhtimisviisiga kompressorite eraldamine lähtuvalt ettevõtte baas- ja tippkoormuse suruõhuvajadusest **(joonis 6).**



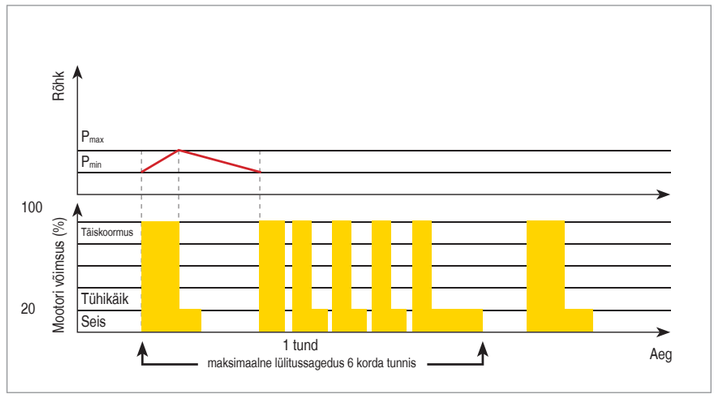
Joonis 1. Koormus-tühikäik katkestustega reguleerimine koos kindlate määratud tühikäiguaegadega, nn kaksikreguleerimine



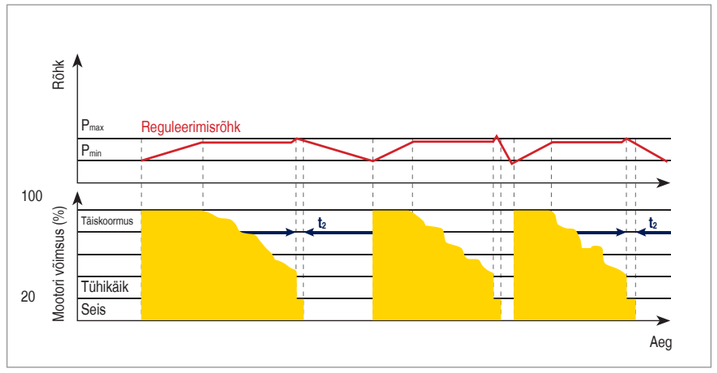
Joonis 2. Koormus-tühikäik katkestustega reguleerimine koos optimaalse töörežiimi automaatse valimisega, nn nelikreguleerimine



Joonis 3. Dünaamika reguleerimine, mis põhineb kaksikreguleerimisel, koos tühikäiguaegadega, mis olenevad ajamimootori temperatuurist



Joonis 4. Muutuv reguleerimine muutuvalt arvutatud tühikäiguaegadega



Joonis 5. Pidev tootlikkuse reguleerimine mootori pöörlemiskiirusega (sagedusmuundur)

6. peatükk

Tõhus kompressori juhtimine

b) Masinaüleste juhtimissüsteemide ülesanded

Kompressori töö koordineerimine on nõudlik ja ulatuslik mahukas ülesanne. Nii peavad masinaülesed juhtimissüsteemid olema võimelised mitte ainult erineva konstruktsiooniga ja suurusega kompressoreid õigel ajahetkel rakendama,

vaid ka seadmeid hooldustehniliselt kontrollima, kompressorite tööaegu ühtlustama ja tööhäireid registreerima, et kompressorjaama teeninduskulusid vähendada ning töökindlust suurendada.

c) Õige järjestamine

Oluline eeldus tõhusa ja seega energiasäästliku masinaülese juhtimissüsteemi jaoks on kompressorite lünkadeta järjestamine.

Tippkoormuse seadmete tootlikkuse summa peab seetõttu olema suurem kui järgmise baaskoormuse seadme oma. Pöörlemiskiiruse abil reguleeritava tippkoormuse seadet kasutades peab reguleerimisvahemik olema vastavalt suurem kui järgmise lülitatava kompressori tootlikkus. Muidu ei saa tagada suruõhutootmise ökonoomsust.

d) Kindel andmete ülekanne

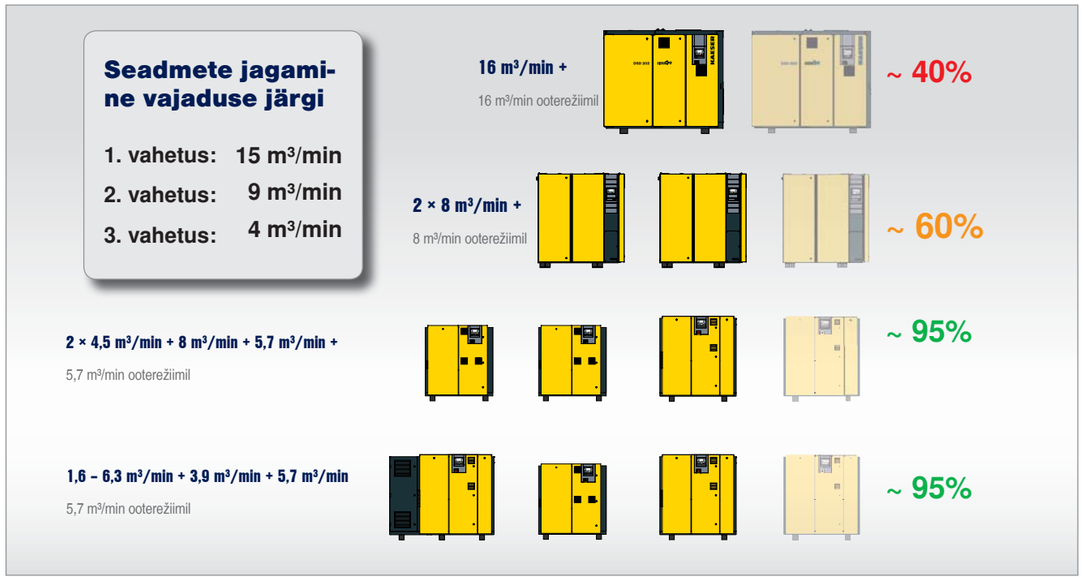
Veel üks oluline eeldus masinaülese juhtimissüsteemi veatu toimimise ja tõhususe jaoks on kindel andmete edastamine.

Selleks peab olema tagatud, et toimuks teadete edastamine mitte ainult üksikutes kompressorseadmetes, vaid ka kompressorite ja ülem-juhtimissüsteemide vahel. Peale selle tuleb valvata ka signaali kulgemist, et oleks võimalik viivitamatult tuvastada häireid, nagu ühendusjuhtme katkemist.

Tavalised ülekandekanalid on:

1. potentsiaalivabad kontaktid;
2. analoogsignaalid 4–20 mA;
3. elektroonilised liidesed, nt RS 232, RS 485, Profibus DP või Ethernet.

Kõige moodsamat ülekandetehnikat pakub Profibus. Selle kanali kaudu on võimalik suuri andmekoguseid lühima ajaga probleemideta väga kaugele üle kanda. Koos Ethernetiga ja moodsa telefonitehnoloogiaga on võimalik ühendada standardiseeritud arvuti- ja seiresüsteemidega. Nii ei pea ülem-juhtimissüsteemid asetsema tingimata kompressorjaamas **(joonis 7)**.



Joonis 6. Vajadusest olenev koormuse jaotamine erineva võimsusega kompressorite peale

Joonis 7. Korralikud ühendusvõimalused kõrgemal asetseva juhtimissüsteemiga tagavad kompressorjaama tõhusa käitamise

7. peatükk

Kompressorite optimaalne, tarbimise järgi häälestamine

Kompressorjaamad koosnevad tavaliselt mitmest sama või eri suurusega kompressorist. Nende üksikute masinate koordineerimiseks läheb tarvis masinaülest juhtimissüsteemi. Suruõhu tootmist tuleb optimaalselt häälestada kasutajaettevõtte vajaduste järgi, samal ajal tuleb saavutada parim võimalik energiatõhusus.

Üldjuhul kompressorite juhtimissüsteemideks nimetatud süsteemid on reguleerimistehnika mõistes vaadeldavad kui reguleerimissüsteemid. Need jaotuvad nelja rühma.

1. Kaskaadreguleerimine
Klassikaline viis kompressoreid reguleerivalt juhtida on kaskaadreguleerimise kasutamine. Selle juures määratakse kompressorile alumine ja ülemine lülituspunkt. Kui on vaja koordineerida mitut kompressorit, moodustub sellest astmeline reguleerimissüsteem. Kui madala õhutarbe korral lülitub tööle ainult üks kompressor ja rõhk seega selle kompressori ülemises vahemikus minimaalse (p_{min}) ja maksimaalse rõhu (p_{max}) vahel kõigub, siis suurema õhutarbe korral ja mitme kompressori töölelülitumisel rõhk langeb **(joonis 1, veerg 1)**.

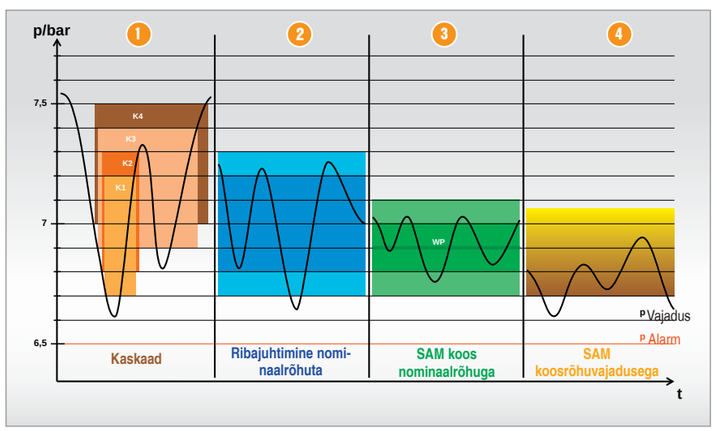
Sellest tuleneb suhteliselt ebasoodne konstellatsioon: madala õhutarbe korral valitseb süsteemis maksimaalne rõhk ja suurenevad energiakaod lekete tõttu; suure tarbimise korral seevastu rõhk langeb ja süsteemi rõhuvaru kahaneb.
Olenevalt sellest, kas mõõtmiseks kasutatakse tavalisi membraan-rõhulüliteid, kontaktmanomeetreid või elektroonilisi rõhuandureid, võib reguleerimissüsteemi rõhkude vahe olla väga suur üksikute kompressorite määramise tõttu teatud rõhuvahemikku. Mida rohkem kompressoreid kasutatakse, seda suuremad on üldised rõhuvahemikud. Tagajärjeks on vähem tõhus reguleerimine juba mainitud kõrgemate rõhkudega, leketega ja energiakadudega. Seega tuleks kaskaadreguleerimine asendada teiste juhtimismeetoditega, kui koos kasutatakse rohkem kui kaht kompressorit.

2. Rõhuriba-reguleerimine
Erinevalt kaskaadreguleerimisest pakub rõhuribaeguleerimine **(joonis 1, veerg 2)** võimalust koordineerida mitme kompressori tööd kindlas rõhuvahemikus. Sellega saab rõhuvahemikku, mille piires reguleeritakse kogu kompressorjaama, suhteliselt täpselt piirata.

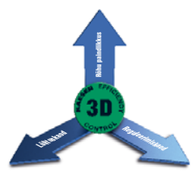
2. a) Lihtne Rõhuriba-reguleerimine
Rõhuriba-reguleerimise lihtsamad versioonid ei suuda koordineerida erineva suurusega kompressorite tööd; seega ei vasta nad tippkoormuse tagamise nõuetele suruõhuvõrkudes, mis peavad toime tulema pidevalt muutuvate tarbimisolukordadega.
Seepärast täiendati seda meetodit süsteemiga, mis püüab, lähtudes rõhu langus- ja tõusuaegadest, juhtida vastavalt sobivaid kompressoreid ja katta sellega suruõhu tippkoormusvajadust. See reguleerimiskarakteristik eeldab suhteliselt suurt rõhuvahemikku **(joonis 2)**. Lisaks eristatakse sarnaselt kaskaadreguleerimisele kompressorite ja suruõhuvõrgu reaktsioone, mistõttu on väärtus minimaalsest võimalikust rõhupunktist väiksem. Seepärast on vajalik hoida ohutut vahemaad vajaliku minimaalse rõhu ja reguleerimise alumise lülitusrõhu vahel.

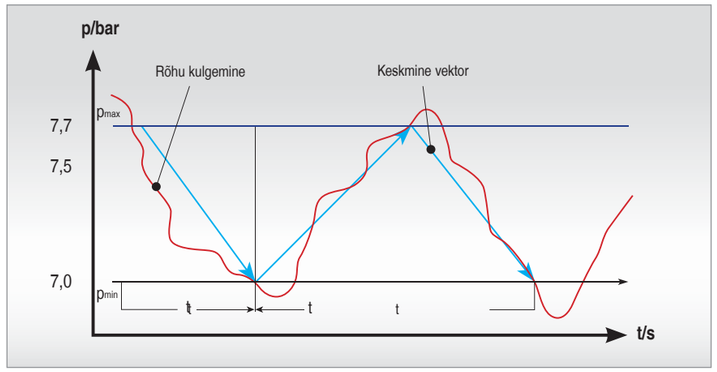
2. b) Nimirõhust lähtuv rõhuvahemiku reguleerimine
Nimirõhust lähtuva rõhuvahemiku reguleerimisega kaasnes vastav tõhustamine **(joonis 1, veerg 3)**. Selle eesmärgiks on hoida kindlat eelnevalt määratud nimirõhku ja olenevalt suruõhu tarbimisest suudab see juhtida erineva suurusega kompressoreid. Selle reguleerimisvariandi eriline eelis on võimalus langetada suruõhusüsteemi keskmist töörõhku olulisel määral ja hoida seeläbi kokku energiat ja kulusid.

3. Vajaliku rõhuga reguleerimine
Vajaliku rõhuga reguleerimine **(joonis 1, veerg 4)** pakub praegu reguleerimistehnika seisukohast optimaalset lahendust. Selle variandi puhul ei anta enam minimaalseid ja maksimaalseid rõhupiire, määratud on ainult madalaim võimalik töörõhk, millest allapoole ei tohi väärtus rõhuanduri mõõtepunktis langeda **(joonis 3)**. Reguleerimissüsteem tuvastab nüüd, võttes arvesse kõik võimalikud kaod, mida põhjustavad rõhu tõstmine, käivitamis-, reageerimis- ja tühikäiguajad ning üksikute seadmete pöörlemiskiiruse reguleerimine, võimaliku optimumi kompressorite lülitamisel ja valimisel. Üksikute reageerimisaegade tundmise tõttu suudab süsteem takistada olukorda, kus väärtus on väiksem minimaalsest võimalikust vajalikust survest **(joonis 4)**.
Selle uue adaptiivse reguleerimissüsteemi 3D[advance] meetodiga, mida kasutatakse kõrgema tasandi juhtimissüsteemis SIGMA AIR MANAGER 4.0, on võimalik energiavajadust võrreldes nominaalväärtusest lähtuva rõhuvahemiku reguleerimisega veelgi rohkem vähendada. Samal ajal hoitakse ära väärtuse langemine alla ettenähtud rõhutaset. Seejuures on muljetavaldav, kui lihtne on käitaja jaoks vajaliku rõhu reguleerimine.

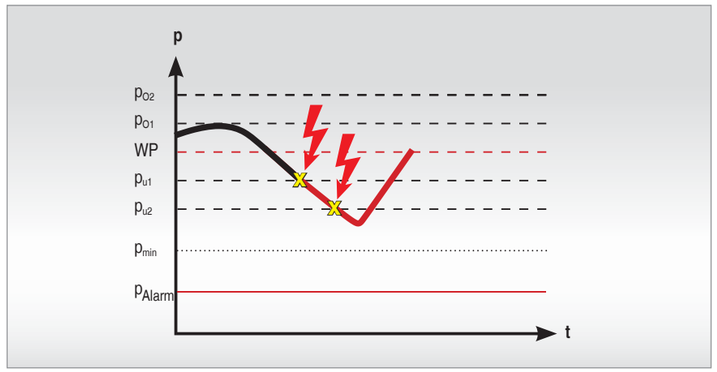


Joonis 1. Kompressori ülemjuhtimise erinevad variandid

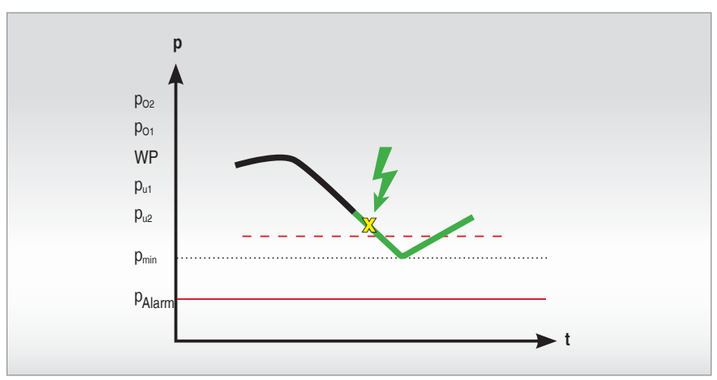




Joonis 2. Optimaalne rõhk luuakse, võttes arvesse reguleerimisest tulevaid kadusid



Joonis 3. Rõhuvajaduse järgi reguleerimisel ei määrata minimaalseid ja maksimaalseid rõhupiire



Joonis 4. Süsteem hoiab ära rõhu langemise alla määratud minimaalse rõhuvajaduse

8. peatükk

Energia säästmine heitsoojuse taaskasutuse abil

Energia pidevat kallinemist arvestades on energiaressurssidega säästlik ümberkäimine mitte ainult ökoloogiline, vaid ka ökonoomne vajadus. Kompressori tootjad pakuvad selleks mitmeid võimalusi, nt heitsoojuse taaskasutust kruvikompressorite puhul.

1. Kompressorid toodavad esmajoones soojust

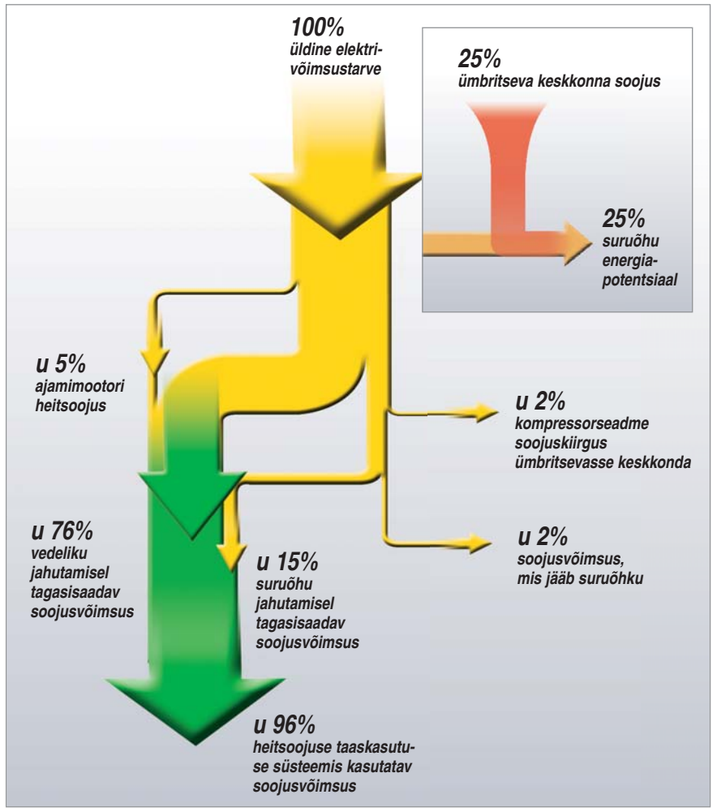
Tõsiasi on, et 100% kompressorisse juhitavast energiast muundub soojusenergiaks. Tihendamisel varustatakse õhk kompressoris energiapotentsiaaliga **(joonis 1)**. Vastavat energiahulka saab kasutada, kui õhk viia ümbritseva keskkonna rõhule, jahutada ja lasta neelata ümbritsevast keskkonnast soojust.

2. Võimalused heitsoojuse taaskasutuseks

Kui on huvi veelgi ökonoomsema suruõhukasutuse vastu, saab valida mitme erineva soojustaaste võimaluse vahel.

a) Sooja õhuga kütmine

Kõige lihtsam heitsoojuse taaskasutuse võimalus õhk- ja õli- või vedelikjahutusega kruvikompressorite puhul on kompressoris soojenenud jahutusõhu otsene rakendamine. Heitsoojus juhitakse õhukanalisüsteemi kaudu köetavatesse ruumidesse. Loomulikult on võimalik sooja õhku kasutada ka muul otstarbel, nagu näiteks kuivatusprotsessides, õhkkardina jaoks või põlemisõhu eelsoojendamiseks. Kui soojust pole vaja, juhitakse heitõhuvool reguleeritava pöördklapi või ribakatiku kaudu ruumist välja. Termostaadi abil juhitav ribakatik võimaldab sooja õhku nii täpselt doseerida, et saavutatakse konstantne temperatuur. Selle variandiga on võimalik kasutada kuni 96% kruvikompressori elektrivõimsustarbest. See võib ära tasuda ka väiksemate süsteemide puhul, sest juba ühe 7,5 kW kompressori heitsoojusest piisab ühepereelamu kütmiseks.



Joonis 1. Soojusvoo diagramm

b) Sooja veega kütmine

Soojusvaheti paigaldamine jahutusvedeliku ringvoolu võimaldab niihästi õhk- kui ka vesijahutusega kruvikompressorite puhul toota sooja vett erineva otstarbe jaoks. Selleks kasutatakse plaatsoojusvaheteid või turvasoojusvaheteid – olenevalt sellest, kas sooja vett on vaja kütmiseks, duši- ja pesuveeks või tootmis- ja puhastusprotsessides kasutamiseks. Nende soojusvahetitega saavutatav veetemperatuur on kuni 70 °C. Kompressorseadmetes võimsusega alates 7,5 kW tasuvad selle soojuse taaskasutamisvariandi lisarakendused end kahe aastaga ära. Eelduseks on korralik projekteerimine.

Joonis 3. Kompressorite nõuetekohane sidumine heitsoojuse taaskasutuse süsteemiga

3. Töökindlus

Tavaliselt ei tohiks kompressori primaarset jahutussüsteemi kunagi kasutada ühtlasi ka soojustaastesüsteemina. Soojustaaste võimaliku rivist väljalangemise korral oleks siis ohus ka kompressori jahutus ja seega suruõhutootmine. Sellepärast tuleb paigaldada kompressorseadmesse eraldi soojusvaheti heitsoojuse taaskasutuse jaoks. Sellisel juhul tagab kompressor rikke korral ise oma töökindluse. Kui heitsoojuse taaskasutuse süsteemi vedelik-vesisoojusvaheti kaudu soojust ei eemaldata, lülitab kompressor primaarsele õhk- või vesijahutusele ümber. Sellega on suruõhuga varustamine jätkuvalt tagatud **(joonised 2 ja 3)**.

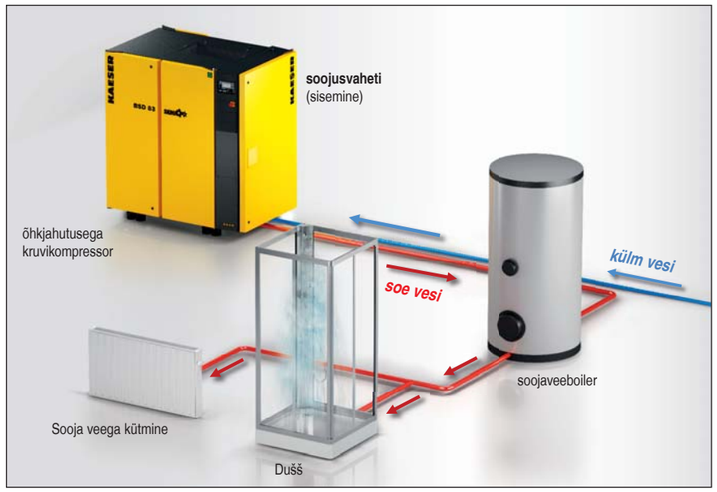
4. Kuni 96% kasulikku energiat

Suurem osa rakendatud ja soojusena kasutatavast energiast, nimelt 76%, on õli või vedeliku sissepritsega jahutusega kompressorite jahutusaines, 15% suruõhus ja kuni 5% elektrimootori soojuskaos. Täielikult kapseldatud õli- või vedelikjahutusega kruvikompressorite puhul on võimalik isegi need elektrimootori energiakaod sihipärase jahutusega soojusenergiana tagasi saada. Niisiis on kokku kuni 96% kompressoris rakendatud energiast soojustehniliselt kasutatav.

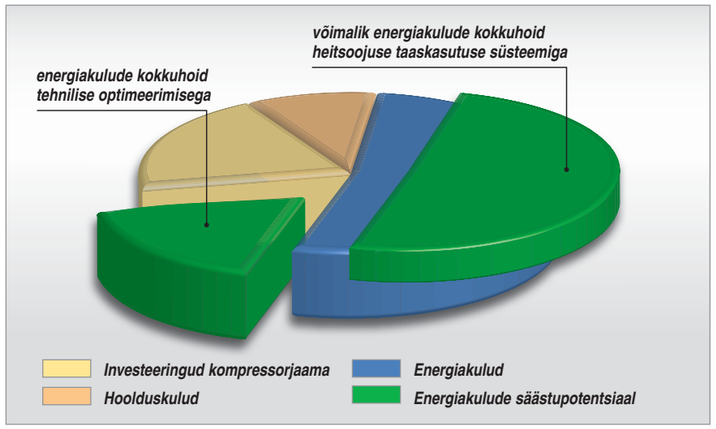
Vaid 2% läheb kaduma soojuskiirgusena ja 2% soojusest jääb suruõhku **(joonis 1).**

5. Tulemus

Heitsoojuse taaskasutus on täiesti mõeldav võimalus kompressorseadme ökonoomsuse suurendamiseks ja samas ka keskkonna säästmiseks. Vajalikud kulutused on suhteliselt väikesed. Investeeringute suurus oleneb käitusettevõtte kohalikest tingimustest, kasutusotstarbest ja valitud heitsoojuse taaskasutuse meetodist **(joonis 4)**.



Joonis 3. Heitsoojuse taaskasutuse skeem



Joonis 4. Heitsoojuse taaskasutus tähendab olulist energiakulude lisasäästu potentsiaali

9. peatükk

Suruõhuvõrgu projekteerimine

Suruõhk on eriti just siis ökonoomne energiakandur, kui selle valmistamine ja jaotamine on omavahel võimalikult hästi kooskõlastatud. Selle juurde kuulub kompressorjaama õige projekteerimise ja teostuse kõrval ka suruõhuvõrgu sobiv dimensioonimine ja paigaldamine.

1. Ökonoomne suruõhutootmine

Kui arvestada kõiki väljaminekuid energiale, jahutusainele, hooldusele ja amortisatsioonile, siis tuleb ühe kuupmeetri suruõhu hinnaks, olenevalt kompressori suurusest, koormusest, hooldusseisundist ja konstruktsioonist, umbes 0,5 kuni 2,5 senti. Paljud ettevõtted asetavad seetõttu suurt rõhku eriti ökonoomsele suruõhutootmisele. See on ka õli- või vedelikjahutusega kruvikompressorite võidukäigu põhjuseks: nendega annab kokku hoida kuni 20% senistest suruõhutootmise kuludest.

2. Töötlemine mõjutab suruõhuvõrku

Juba vähem tähelepanu köidab aga vajadustele vastav suruõhu töötlemine. See on kahetsusväärne, kuna ainult korralikult töödeldud suruõhk aitab hoida suruõhutarbijate ja torustiku hooldskulud madalal. Kui torustik transpordib niisket, veel mitte kuivatatud suruõhku, tuleb kindlasti kasutada korrosioonikaitsega torude materjali. Vastasel korral tuleb jälgida, et ebapiisava kvaliteediga torustik ei vähendaks töötlemissüsteemiga saavutatud suruõhukvaliteeti.

a) Jahutuskuivatid vähendavad hooldusvajadust

Umbes 80% kõikidest rakendusjuhtudest piisab suruõhutöötlemiseks jahutuskuivatist. Nii hoiate kokku sageli rõhukadudega seotud filtrite kasutamise pealt torustikus ja vajate ainult umbes 3% energiakuludest, mida kompressor põhjustab vastava suruõhukoguse tootmisel. Sellele lisandub veel asjaolu, et kulude kokkuhoid torustiku ja suruõhutarbijate madalamate hooldus- ja remondikulude tõttu on kuni kümme korda suurem, kui jahutuskuivatuseks kasutatud vahendid.

b) Ruumisäästlikud kombineeritud seadmed

Väiksemate ettevõtete või detsentraalse varustamise jaoks on turul saadaval ka ruumisäästlikud kombinatsioonid kruvikompressorist, jahutuskuivatist ja suruõhumahutist **(joonis 1)**.

3. Suruõhuvõrgu ümberprojekteerimine ja paigaldamine

Eelnevalt tuleb välja selgitada, kas suruõhuvarustus peab olema tsentraalne või detsentraalne. Väiksematele ja keskmistele ettevõtetele sobib enamasti tsentraalne varustamine: Siin ei teki tavaliselt probleeme, mis esinevad enamasti tsentraalse suruõhuvõrgu puhul: mahukad paigaldamistööd, ebapiisavalt isoleeritud torustik talvel ja tugev rõhulangus pika torustiku tõttu.

Joonis 1. Moodne kompaktne kompressorjaam AIRCENTER ruumisäästliku suruõhutootmise, -töötlemise ja salvestamise jaoks

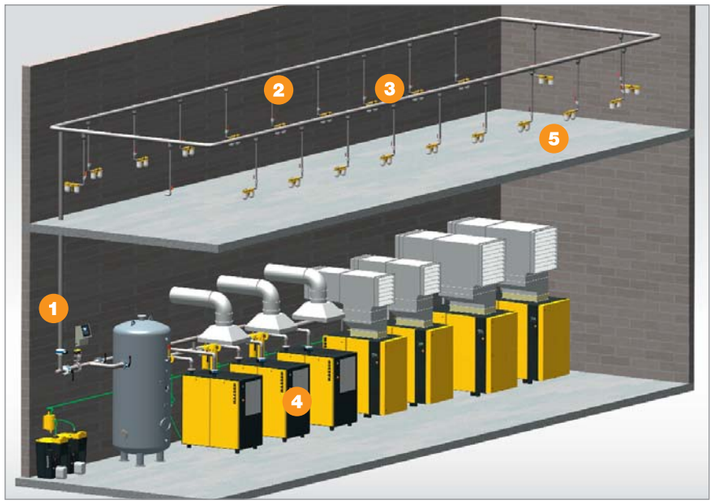
a) Võrgu õige dimensioonimine

Torustiku dimensioonimise juurde peaks igal juhul kuuluma arvestus. Selle aluseks on maksimaalne rõhulangus 1 baari kompressori ja suruõhutarbijate vahel, kaasa arvatud kompressori lülitusdiferents ja tavapärane standard-suruõhutöötlus (jahutuskuivatus). Täpsemalt arvestatakse järgmiste rõhukadudega **(joonis 2)**:

❶ põhitoru		0,03 bar
❷ jaotustoru	0,03 bar	
❸ ühendustoru	0,04 bar	
❹ kuivati		0,20 bar
❺ hooldusüksus ja voolik		0,50 bar
kokku max		**0,80 bar**

See paigaldus näitab, kui tähtis on arvestada suruõhukulusid üksikutes torustiku lõikudes. Seejuures tuleb arvestada ka toruliitmikke ja sulgeüksusi. Ei piisa vaid sirgete torude meetrite kandmisest arvestusvalemisse või tabelisse. Esmajoones on vaja kindlaks teha torustiku voolutehniline pikkus. Tavaliselt ei omata siiski projekteerimise alguses ülevaadet kõikidest toruliitmikest ja sulgeüksustest. Seetõttu arvestatakse voolutehnilisi torupikkusi, korrutades paigaldatavate sirgete torude meetrid koefitsiendiga 1,6. Torustiku läbimõõdud saab siis levinud valemite **(joonis 3)** või paigaldusdiagrammide abil lihtsal viisil tuvastada **(lisa 1, lk 54)**.

KAESER-Tööriistakohvri (http://www.kaeser.ee/Online_Services/Toolbox) abil on lisaks võimalik dimensioonimine.



Joonis 2. Suruõhu jaotussüsteemi põhilised koostisosad: põhitoru (1), jaotustoru (2), ühendustoru (3), kuivati (4), hooldusüksus/voolik (5)

Ligikaudne valem:

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

d_i = toru siseläbimõõt (m)
p_s = süsteemirõhk (absoluutne, ühik Pa)
L = nimipikkus (m)
V = voolu maht (m³/s)
Δp = rõhukadu (Pa)

Joonis 3. Ligikaudne valem torustiku läbimõõtude tuvastamiseks

b) Torustiku energiasäästlik paigaldamine

Energia kokkuhoiu eesmärgil tuleb torustikusüsteem paigaldada nii sirgelt kui võimalik. Pöördekohti, nagu tugipostide ümber, saab vältida, kui torustik paigaldada takistuse kõrvale sirgelt kulgevana. Teravaservalisi, suurt rõhukadu põhjustavaid 90-kraadiseid nurki on samuti lihtne asendada suuremõõtmeliste 90-kraadiste kaartega. Ikka veel sageli kasutatavate veesulgventiilide asemel tuleks kasutada täismahus läbitavaid kuulkraane või klappventiile. Niiskes keskkonnas kulgeva torustiku puhul, moodsas kompressorjaamas siis ainult kompressoriruumis, tuleb paigaldada põhitoru juurde- ja väljavoolud üles või vähemasti küljele. Põhitoru kalle peaks olema kaks promilli. Toru kõige madalamas punktis peab olema kondensaadi eraldamise võimalus. Kuivas piirkonnas seevastu võib paigaldada torud horisontaalselt ja toru väljavoolud võivad olla suunatud otse alla.

c) Missugune on õige torumaterjal?

Seoses materjali omadustega ei saa kindlaid soovitusi anda, üksnes kompressorites tuleks kõrge termilise koormuse tõttu kasutada alati metalltorusid. Ainult hankehinna alusel ei tohiks ka otsustada: tsingitud torud, vask- või plasttorud on enam-vähem samas hinnaklassis, kui materjali- ja paigalduskulud kokku arvestada. Roostevabast terasest torud on umbes 20% kõrgema hinnaga. Efektiivsed töötlemismeetodid on võimaldanud ka siin hinda langetada.

Viimasel ajal pakuvad mitmed tootjad tabeleid, kus on toodud kõikidele torumaterjalidele optimaalsed tingimused. Enne investeeringute otsuse langetamist on seetõttu otstarbekas nende tabelitega lähemalt tutvuda, tulevase tööprotsessi koormusi arvestada ja selle järgi torustiku jaoks spetsifikatsiooni kataloog koostada. Ainult nii saate täiesti õige valiku teha.

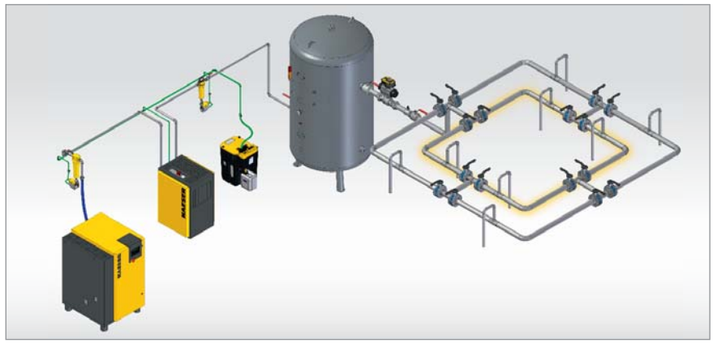
d) Oluline: õige ühendusmeetod

Torude detailid tuleks omavahel ühendada keevitades või liimides või kinni kruvides ja liimides. Isegi kui lahtivõetavus kannatab, võib siiski kindel olla, et seesugused ühendused vähendavad lekkevõimalusi miinimumini.

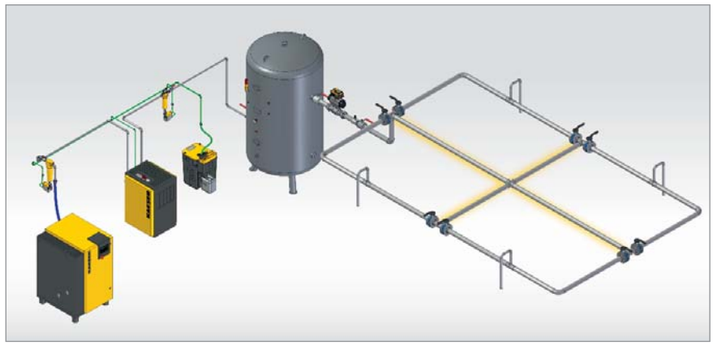
10. peatükk

Suruõhuvõrgu saneerimine

Aastast aastasse lendavad paljudes ettevõtetes tuhanded eurod sõna otseses mõttes õhku. Põhjus: vananenud ja/või puudulikult hooldatud torustikuvõrk tõstab suruõhusüsteemi energiatarbe väga kõrgeks. Kes soovib seda puudust kõrvaldada, peab targalt toimima. Alljärgnevalt mõned nõuanded suruõhu torustikuvõrkude õige saneerimise jaoks.



Joonis 1. Suruõhutorustiku saneerimine teise toruringi paigaldamise abil



Joonis 2. Torustiku mahu laiendamine nn vahekaarte abil

1. Põhieeldus:
kuiv suruõhk

Uue suruõhuvõrgu projekteerimisel saab kohe alguses vältida mitmeid vigu ja nendega kaasnevaid hilisemaid probleeme. Vana võrgu saneerimisega seevastu kaasnevad sageli probleemid. Eriti just siis on tegu samahästi kui lootusetu ettevõtmisega, kui niiske suruõhk jätkuvalt võrku jõuab. Enne saneerima asumist peab seetõttu olema kindlasti võimalik kasutada tsentraalset kuivatusüksust.

2. Mida teha liiga suure
rõhulanguse korral võrgus?

Kui rõhulangus torustikuvõrgus on ka pärast sobiva töötlemisseadme paigaldamist väga suur, siis on põhjuseks ladestised torustikus. Need tekivad mustusest, mis koos suruõhuga kaasa tuleb ja mis vooluläbimõõdu miinimumini ahendab.

a) Väljavahetamine või lahtipuhumine

Kui need ladestised on juba korbatanud, siis aitab tavaliselt vaid vastavate torude väljavahetamine.
Sageli aitab toru läbimõõdu suurendamiseks torude läbipuhumine ja sellele järgnev kuivatamine, kui ladestuste tõttu pole tekkinud veel väga suuri kitsenemisi.

b) Lisatorude paigaldamine

Väga hea võimalus kitsaks muutunud harutorude laiendamiseks on paralleeltoru paigaldamine, mis on ühendatud harutoruga. Kitsaks muutunud ringtorude korral aitab vastavalt teise ringi paigaldamine **(joonis 1)**.
Kui selline kahekordne haru- või ringtorusüsteem on õigesti dimensioonitud, võib saavutada kavatsetud põhiefekti – rõhukadude märgatav vähenemine – kõrval veel lisaeelise kindlama suruõhujaotuse näol.
Teine võimalus ringtorustiku saneerimiseks on süsteemi laiendamine nn vahekaarte abil **(joonis 2)**.

3. Lekete väljaselgitamine
ja kõrvaldamine

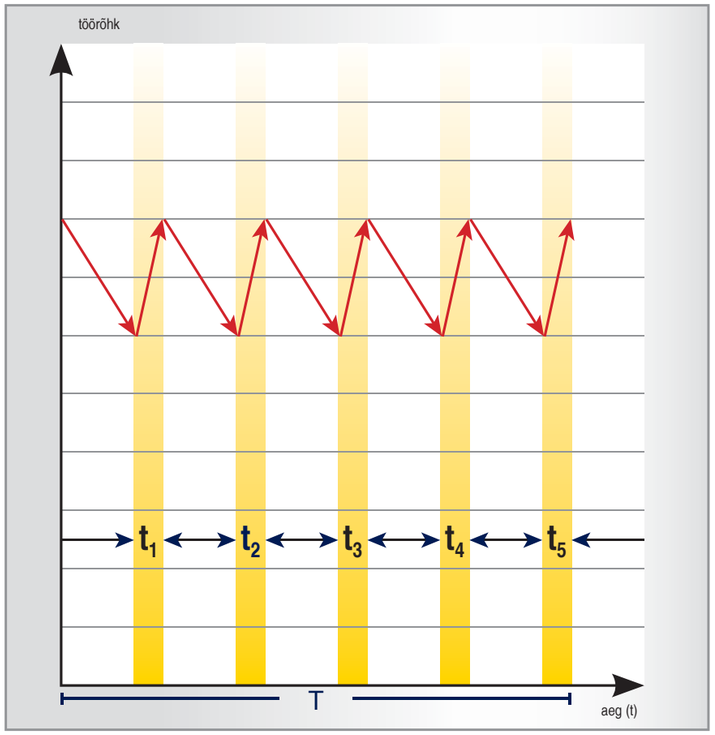
Saneerimismeetmetel on optimaalne tulemus loomulikult ainult siis, kui suruõhuvõrgust kõrvaldatakse ka kõik lekked.

a) Lekete üldkoguse
kindlakstegemine

Enne kui hakata torusüsteemis üksikuid ebatihedaid kohti otsima, tuleb kindlaks teha lekete üldkogus. Selleks on olemas lihtne meetod. Kõigepealt lülitatakse välja kõik suruõhutarbijad ja siis mõõdetakse kompressori sisselülitumisaegu teatud ajavahemiku vältel **(joonis 3).** Tuginedes sellele mõõtmisele, arvutatakse lekete kogus alljärgneva valemi järgi. Seletus:

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

VL = lekete kogus (m³/min)
VK = voolu maht läbivool (m³/min)

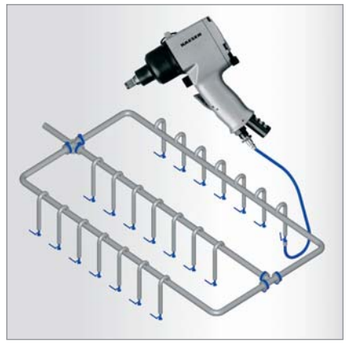


Joonis 3. Lekete väljaselgitamine kompressori sisselülitusaegade mõõtmisega väljalülitatud suruõhutarbijate korral

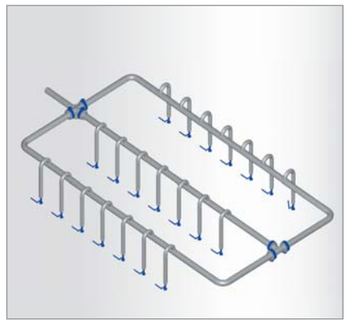
$\sum t_x = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$
aeg, mil kompressor töötas koormusega (min)
T = üldaeg (min)

b) Tarbijate lekete
väljaselgitamine

Detsentraalsete suruõhutarbijate lekete väljaselgitamiseks ühendatakse kõigepealt kõik pneumaatilised tööriistad, masinad ja seadmed ning mõõdetakse kõikide lekete summa **(joonis 4)**. Siis suletakse sulgeventiilid tarbijate liitmiku ees ja mõõdetakse torustikuvõrgu lekkeid **(joonis 5)**.
Lekete üldkoguse ja võrgulekete erinevus annab lõpuks tulemuseks õhutarbijate, nende täiendosade ja toruliitmike kaod.



Joonis 4. Suruõhutarbijate ja torustikuvõrgu lekete mõõtmine



Joonis 5. Torustikuvõrgu lekete mõõtmine

4. Kus asuvad põhilised lekked?

Kogemused on näidanud, et umbes 70% leketest võib leida viimastest meetritest, st suruõhuvõrgu lõpptarbijatest. Nende lõpptarbijate lekete kohti on võimalik seebiveelahuse või spetsiaalse aerosooli abil täpselt kindlaks määrata. Põhitorudes on tavaliselt ainult siis arvukalt ja suuri lekkeid, kui algselt niisket võrku, kus on kasutatud vanu takust tihendeid, käitatakse kuiva suruõhuga ja need tihendid mõne aja pärast ära kuivavad. Lekete asukoha täpseks leidmiseks põhitorustikus tuleks kasutada ultraheliseadet. Kui lõpuks on lekked leitud, kõrvaldatud ja torustiku ristlõiked hetke suruõhutarbe järgi kohandatud, siis on vanast võrgust saanud (jälle) ökonoomne suruõhu jaotussüsteem.

11. peatükk

Suruõhutarbimise analüüs (ADA): tegeliku olukorra väljaselgitamine

Moodsad kompressorjaamad on tavaliselt keerulised süsteemid. Tõeliselt ökonoomselt saab neid käitada vaid juhul, kui seda arvestatakse vastavalt ümber-projekteerimisel, laiendamisel ja moderniseerimisel. KAESER pakub selleks täielikku teeninduskava. Teenindus ühendab ennast õigustanud elemente, nagu suruõhukomponendid, kliendi nõustamine ja toetus, uute suruõhutehnika infotehnoloogiliste võimalustega.

Suruõhutarbijate spekter ulatub autode tootjaist kuni tsemendivabrikuteni. Üheks oluliseks eelduseks suruõhu tõhusale kasutamisele erinevates valdkondades on seega usaldusväärne tootmis- ja töötlemistehnika. See peab tootma suruõhku soodsalt ning täpselt määratud koguse ja kvaliteediga.

1. Nõustamine otsustab ökonoomsuse

Suruõhusüsteem, mis vastab kõikidele nendele nõudmistele, peab olema kohandatud täpselt rakendus(t)ele ning paigaldus- ja keskkonnatingimustele. See tähendab, et seal peavad olema õigesti dimensioonitud kompressorid, töötlemisseadmed ja torustik, samuti tõhus juhtimissüsteem, sobiv ventilatsioonitehnika ning kondensaadi töötlemissüsteem, võimaluse korral ka heitsoojuse taaskasutus. Sellele arusaamale vastab „KAESERi EnergiaSäästuSüsteem" (KESS). See hõlmab suruõhutarbimise analüüsi, projekteerimist **(joonis 1),** realiseerimist, koolitusi ja klienditeenindust.

Otsustavaks on seejuures nõustamise kvaliteet ja õige tehnika valimine: suurima säästupotentsiaaliga kohad asuvad nimelt energiatarbe ja hoolduse, mitte varustamise valdkonnas.

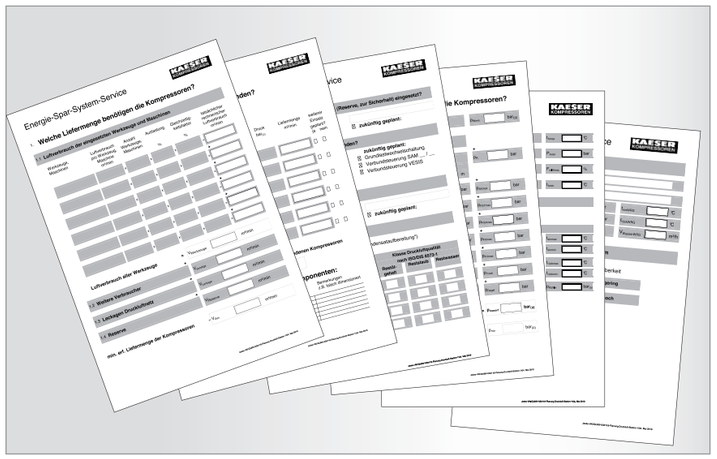
2. Suruõhutarbimise analüüs

KESSi nõustamise lähtepunktiks on antud hetke ja vajaduse korral tulevase suruõhutarbimise analüüs.

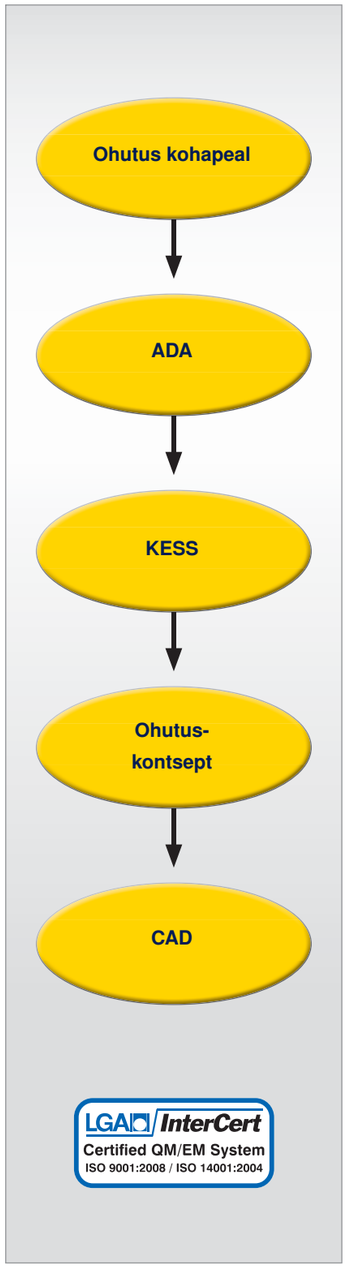
See KAESERis lühendi all ADA (suruõhutarbimise analüüs) teostatav uuring peab arvestama erinevaid raamtingimusi konkreetsele nõudluse kohaselt.

a) Suruõhuvarustuse ümberprojekteerimine

Uue kompressorjaama planeerimiseks saab tulevane käitaja spetsiaalse konstrueerimise küsimustiku **(joonis 2)**. See aitab koostöös KAESERi kogenud suruõhuspetsialistiga välja selgitada oodatava suruõhuvajaduse ja selleks vajaliku varustuse. Küsimused haaravad kõiki ökonoomse ja keskkonnasõbraliku suruõhuvarustuse tähtsamaid aspekte.



Joonis 2. Küsimustik „Kompressorjaam" uute ja vanade seadmete tuvastamiseks (vt ka lisa, lk 56 jj)



Joonis 1. KAESER Kompressoreni suruõhuanalüüsi süsteem

b) Laiendamine ja moderniseerimine

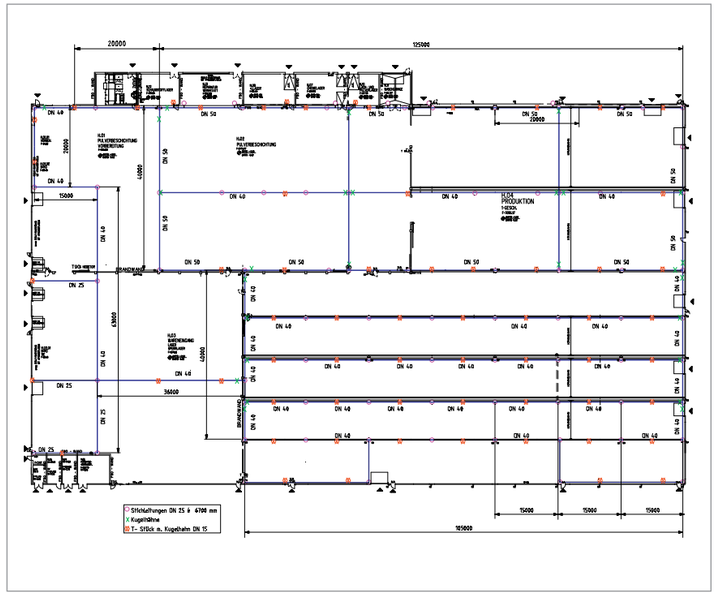
Erinevalt ümberprojekteerimisest pakub laiendamisplaan piisavalt alust vajadusele vastava konstruktsiooni jaoks. KAESER pakub kliendile mõõtemeetodeid ja -seadmeid, millega saab suruõhuvajadust vastavates ettevõtte osades erineval ajal täpselt välja selgitada. Seejuures on oluline kindlaks teha mitte ainult keskmised, vaid ka maksimaalsed ja minimaalsed väärtused **(joonis 8, lk 29)**.

c) Olemasolevate jaamade tõhususe kontrollimine

Ka olemasolevate jaamade puhul on soovitatav aeg-ajalt arvutitoega analüüsisüsteemi abil kontrollida, kas kompressorid on (ikka veel) õigesti koormatud, kas võimalikud masinaülesed süsteemid on (ikka veel) õigesti programmeeritud või kas lekkemäärad on veel tolerantsivahemikus. ADA tuleks kasutusele võtta ka siis, kui vanad kompressorid uute vastu välja vahetatakse. See pakub võimalust asendada võimalikud valed võimsused õigetega, muuta kompressorite töökäitumist tõhusamaks (osalise koormuse režiim!) ja planeerida optimaalset masinaülest juhtimissüsteemi.

d) Muutunud suruõhu kasutustingimused

Ka kasutustingimuste muutumise korral tuleks spetsialistiga nõu pidada. Paljudel juhtudel on võimalik nimelt tootmistehnika või rõhu kohandamisega saavutada olulist kulude kokkuhoidu.



Joonis 3. Suruõhutorustiku süsteemiga ettevõtte üldplaan

3. Käitaja teave

a) Üldplaan

Üldiseks orienteerumiseks peab olemas olema käitaja üldplaan **(joonis 3)**.

See peab sisaldama kompressorjaama peamist rõhutoru, ühendustorusid ja toitepunkte.

Peale selle on vajalikud andmed torustiku mõõtude ja materjali, suruõhu põhitarbija asukoha ning spetsiaalse rõhu ja kvaliteediga õhu tarbimiskohtade kohta.

b) Suruõhu kasutusviisid

Kuna suruõhk on väga mitmekülgne vahend, on andmed selle eesmärgi kohta asendamatud. Kui suruõhku kasutatakse nt juhtõhuna, pindade kihiga katmiseks, pöörlevate tööriistade jaoks, puhastusotstarbeks, protsessiõhuna jne?

c) Paigaldatud kompressorid

Kompressorite tüübi ja konstruktsiooni kõrval tuleb nimetada tehnilised andmed, nagu töörõhk, tootlikkus, võimsustarve, jahutuse liik ja võimaluse korral ka heitsoojuse kasutamine.

d) Suruõhu töötlemine

Suruõhu töötlemise juures on oluline, kas töötlemine toimub tsentraalselt ja/või detsentraalselt ja millist kvaliteediklassi on vaja. Loomulikult tuleb nimetada ka komponentide tehnilised andmed. Vooskeem annab vajaliku ülevaate **(joonis 4, lk 28)**.

e) Süsteemi juhtimine/seire

Kuna jaama ökonoomsust mõjutab peale üksikkompressorite omaduste eelkõige nende koostoimimine, ei tohi puududa ülevaade juhtimis- ja seiretehnikast.

4. Käitaja/ suruõhuspetsialisti vestlus

Kui kogu teave on olemas, tuleks suruõhuspetsialistile eelvestluse käigus kõigepealt kogutud dokumente tutvustada ja arutada, milliseid probleeme ▶

Suruõhutarbimise analüüs (ADA): tegeliku olukorra väljaselgitamine

suruõhuvarustusega seoses esineb. Selleks võib olla näiteks liiga madal või kõikuv rõhutase, puudulik õhukvaliteet, kompressorite halb koormatus või jahutusprobleemid.

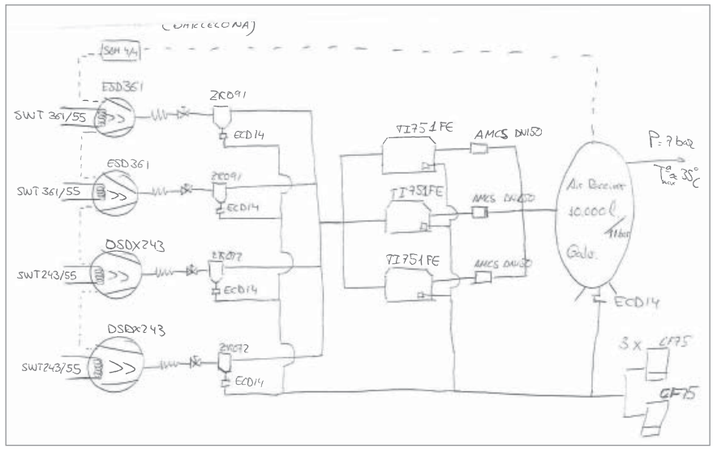
5. Suruõhusüsteemi läbikäimine

Kõige informatiivsem on harilikult suruõhusüsteemi läbikäimine. Seejuures tuleks alustada kriitilistest tsoonidest, kus võib arvestada nt tugeva rõhulangusega või halva õhukvaliteediga **(joonis 5)**. Kogemused näitavad, et need on tavaliselt lõpptarbijate kohad.

a) Ühendusvoolikud, rõhualandajad, veeseparaatorid

Sageli esineb lekkeid just õhutarbijate ühendusvoolikutes. Sellepärast tuleb kontrollida, ega neil pole kahjustusi või lekkekohti. Kui rõhualandajad on olemas, tuleb nende seadmist (eel- ja järelrõhk) samuti kontrollida koormuse tingimustes **(joonis 6)**.

Tuleb kontrollida ka, kas rõhualandajate ette paigaldatud veeseparaatorites on vedelikku ja mustust. See kehtib ka vertikaalselt alla suunatud väljavoolutorude kohta **(joonis 7)**.



Joonis 4. Kompressorjaama vooluskeem, käsitsi joonistatud

b) Sulgarmatuur

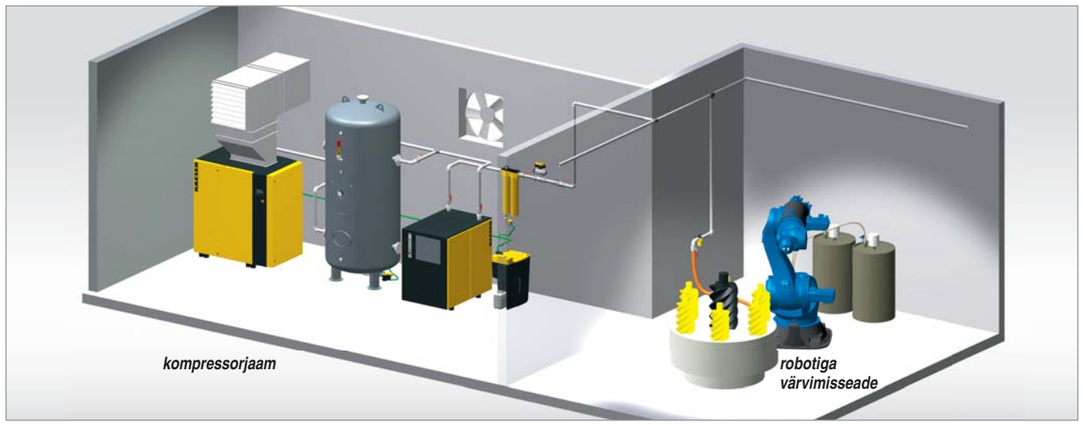
Süsteemi tõhususele avaldab suurt mõju põhivõrgust hargnevate ühendustorude seisund. Nende valupunktideks on sulgarmatuurid. Niisiis tuleb kontrollida, kas on tegemist voolamist soodustavate, täies mahus läbitavate kuulkraanide, sulgeklappide, voolamist soodustavate veesulgearmatuuride või nurkventiilidega.

c) Põhitorustik

Põhitorustiku puhul on oluline välja selgitada kitsad kohad ja rõhulanguse põhjustajad.

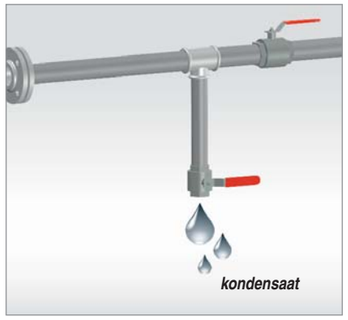
d) Suruõhu töötlemissüsteem

Siin on kõige tähtsamad kontrollkriteeriumid saavutatud rõhu kastepunkt (kuivuse aset) ja vastavalt tekitatud diferentsiaalrõhk. Olenevalt rakendusest võivad vajalikud olla ka kvaliteedi lisakontrollid.

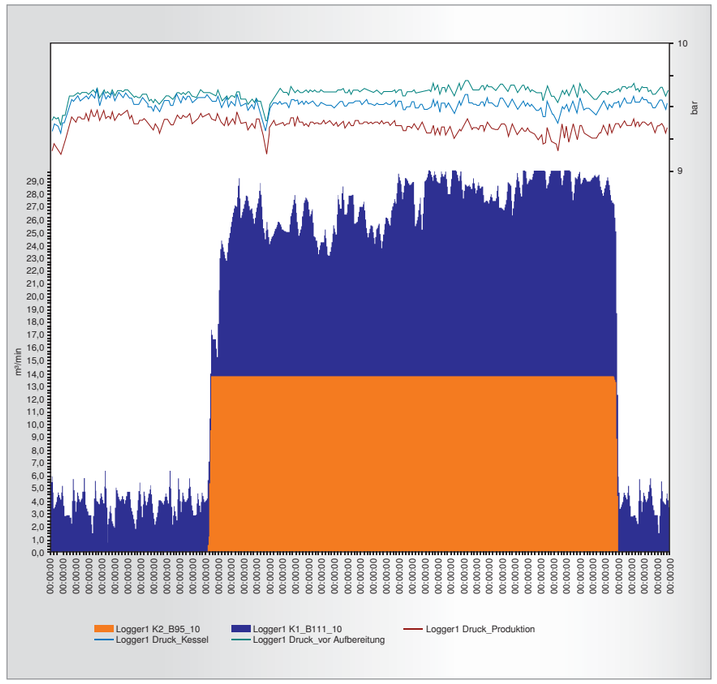


Joonis 5. Informatiivne: suruõhusüsteemi läbikäimine

Joonis 6. Hooldusüksus koos rõhualandiga



Joonis 7. Suruõhu väljavoolutoru niiskuse kontrollimine



Joonis 8. ADA-ga mõõdetud tööstusettevõtte suruõhustruktuur ja suruõhu tarbimise struktuur

e) Kompressorjaam

Loomulikult võib ka kompressorjaamal endal olla suuri puudusi. Üksikasjalikult tuleb kontrollida seadmete paigaldust, ventilatsioonisüsteemi, jahutust ja torustikku. Peale selle tuleb välja selgitada kompressorite üldlülitusrõhu diferents, suruõhumahuti suurus ja mõõtepunkt, kust kompressoreid juhitakse.

f) Kindlad mõõtepunktid

Pärast suruõhusüsteemi läbikäimist määrab suruõhuspetsialist koos käitajaga tarbimisanalüüsi mõõtepunktid. Miinimumnõue on rõhu mõõtmine enne ja pärast töötlemist ning suruõhuvõrgu väljalaske juures.

6. Rõhu ja õhu tarbimisanalüüs (ADA)

Rõhu ja õhutarbimise mõõtmisel analüüsitakse kompressorjaama ja terviksüsteemi tööd vähemalt 10 päeva jooksul moodsate andmelogerite abil. Andmeloger registreerib olulised mõõteväärtused ja edastab need arvutisse, mis koostab detailse tarbimisskeemi. Tuvastatavad on rõhulangused, rõhu ja tarbimise kõikumised, tühikäigutalitlus, kompressori koormuse ja seisuajad ning iga üksiku kompressori võimsuse määramine vastava suruõhutarbe järgi. Pildi täiustamiseks tuleb mõõtmise ajal ka lekked tuvastada. See toimub, nagu on kirjeldatud **peatükis 10, (lk 24)** ja nõuab muuhulgas teatud võrgupiirkondade sihipärast sulgemist nädalavahetuseks.

12. peatükk

Ökonoomse lahendi väljaselgitamine

Suruõhusüsteemide järjekindla optimeerimisega on Euroopa tööstusettevõtted suutnud säästa üle 30% keskmistest suruõhukuludest. Kulu peamine osa on energiavajadus, mis moodustab u 70 kuni 90%. Hindade arengut arvesse võttes muutub kasutaja jaoks tõhusaima suruõhukontsepti väljauurimine üha olulisemaks.

KAESERi EnergiaSäästuSüsteemi (KESS) optimeerimisarvutuse abil saab mitmest suruõhuvarustuse variandist leida kiirelt oma ettevõtte jaoks sobivaima. Arvutamise aluseks on uute projektide puhul täidetud konstrueerimise küsimustik. Olemasolevate kompressorjaamade puhul on arvutamise aluseks suruõhutarbimise analüüsiga (ADA) tuvastatud iseloomulik igapäevane tarbimine **(vt lk 29, joonis 8)**.

1. Andmete tuvastamine arvuti abil

Jaama optimeerimiseks sisestatakse paigaldatud kompressorite ja võimalike uute variantide tehnilised andmed arvutisse. KESS arvutab siis optimaalse variandi ja kulude langetamise võimalused. Seejuures ei kalkuleerita üksnes täpset energiakulu teatud kindla suruõhuvajaduse juures koos kõikide kadudega.

Veelgi enam, see võimaldab saada täpse pildi kompressorjaama erivõimsusest kogu selle töötamise ajal **(joonis 1)**. Nii on võimalik puudujääke osalise koormuse režiimis juba varakult tuvastada ja kõrvaldada. Koondtulemusena tekib selge ülevaade saavutatavast kulude langetamisest ja tasuvusest.

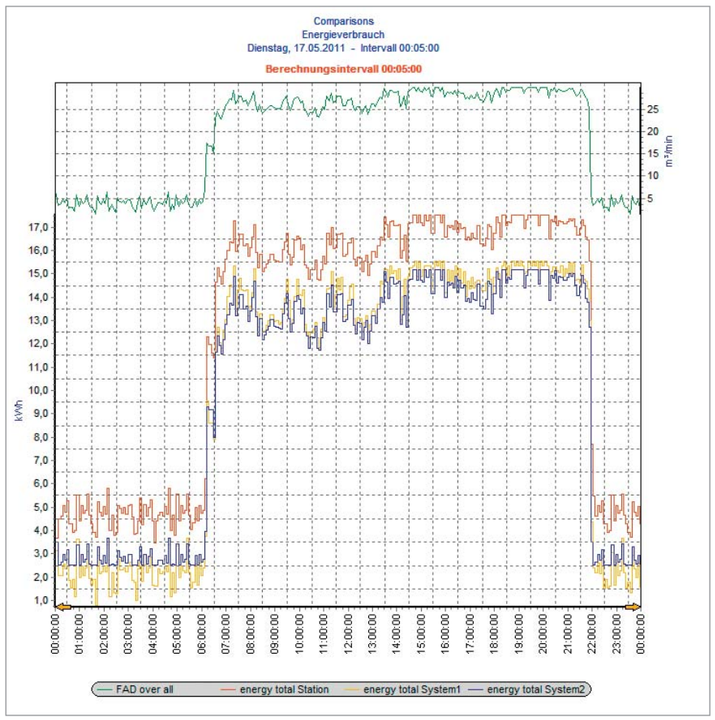
2. Tulemuslik kombinatsioon

Enamasti on õige lahendus erineva võimsusega kompressorite täpselt häälestatud kombinatsioon. See koosneb tavaliselt suurtest põhikoormuse ja ooterežiimi seadmetest, mida täiendavad väiksemad tippkoormuse seadmed.

Masinaülese juhtimissüsteemi ülesandeks on hoolitseda võimalikult tasakaalustatud erivõimsustarbe eest. Selleks peab see suutma automaatselt välja valida baas- ja tippkoormuse kompressorite vastavalt soodsaima kombinatsiooni – kuni 16 kompressorile rõhukõikumise vahemikus vaid 0,2 baari. Seda nõuet täidavad intelligentsed juhtimissüsteemid, nagu SIGMA AIR MANAGER. See juhtsüsteem oskab siinisüsteemi kaudu kompressorite ja lisaseadmetega, nagu kondensaadieraldid, kuivatid jm, andmeid vahetada. Lisaks saab selle ühendada tsentraalse juhttehnikaga, kuhu ta see suudab suunata kõik tööandmed.

3. Ehitustehniline optimeerimine

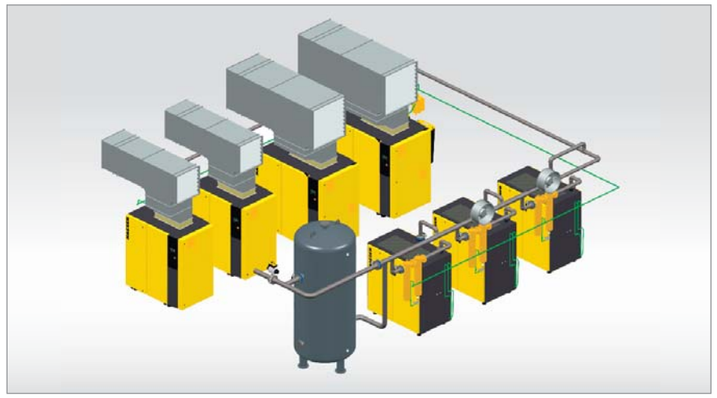
Kompressorjaama ümberprojekteerimisel või moderniseerimisel tuleks ruumiomadusi optimaalselt kasutada. Moodsad projekteerimissüsteemid, nagu KAESER kasutab, pakuvad siin väärtuslikku tuge. Need ei haara projekteerimisprotsessi mitte ainult üldplaane ja R+I-skeeme (vooskeeme), vaid ka arvuti genereeritud 3D-kujutisi ja -animatsioone. Nii on näiteks sageli võimalik, hoolimata piiravatest ruumioludest, kasutada ökonoomset õhujahutust. Sellega saab võrreldes vesijahutusega hoida kokku umbes 30 kuni 40% kulusid. **(Joonised 2a kuni c)**.



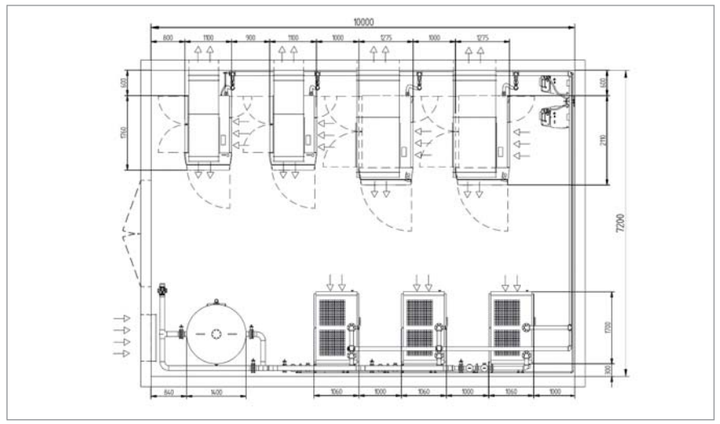
Joonis 1. Olemasoleva kompressorjaama ja uute seadmevariantide energiakulu võrdlus ühe tööpäeva jooksul olenevalt suruõhuvajadusest

4. Töö optimeerimine ja kontrollimine

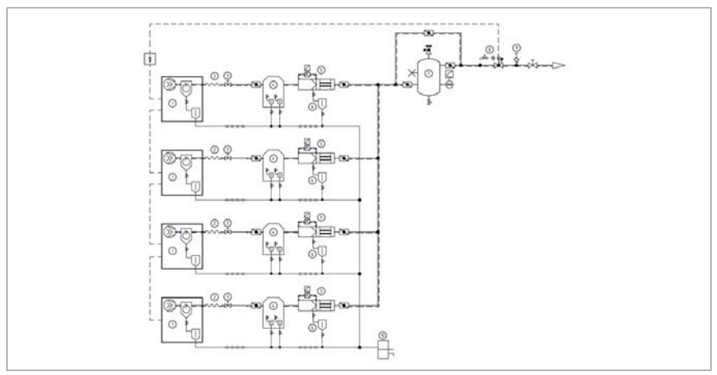
Suruõhuvarustuse pikaajalise ökonoomsuse kindlustamiseks on vaja mitte ainult optimaalset kulude-tulude suhet, vaid ka tõhusaks kontrollimiseks vajalikku läbipaistvust. Selle aluseks on kompressori juhtimissüsteem SIGMA CONTROL, viie programmeeritud juhtimisviisiga ja andmete kogumise ja andmevõrku edastamise võimalusega tööstuslik arvuti. Ülem-juhtimissüsteemi tasandil vastab sellele teine tööstusarvuti, eelmainitud SIGMA AIR MANAGER **(lk 18)**. Jaama optimeeritud reguleerimise ja järelevalve kõrval on selle ülesandeks kõikide oluliste andmete kogumine ja arvutivõrku (Ethernet) edasisaatmine. See saab toimuda Interneti kaudu või juhttehnika tarkvara SIGMA CONTROL CENTER abil. SIGMA AIR MANAGER pakub visualiseerimissüsteemiga SIGMA AIR CONTROL arvuti abil avatavat ülevaadet jaama kõikidest kompressoritest ja nende tööandmetest. Nii saab kiiresti kindlaks teha, kas jaam töötab laitmatult, kas on ilmunud hooldus- või rikketeade ja kui kõrge on töörõhk.



Joonis 2a. Kompressorjaama CAD-optimeeritud 3D-projekteerimine



Joonis 2b. Kompressorjaama üldplaan



Joonis 2c. Kompressorjaama R+I-skeem

13. peatükk

Kompressorjaama tõhus jahutamine

Kompressorid muundavad 100% neisse juhitud elektrienergiast soojuseks. Juba suhteliselt väike 18,5 kW kompressor toodab kõrvalsaadusena nii palju soojusenergiat, et sellega saaks vabalt ühepereelamu soojaks kütta. Seetõttu on tõhus jahutus kompressorjaama häireteta talitlemiseks vältimatu.

Kompressorite heitsoojus sobib kõige paremini energia kokkuhoiuks. Heitsoojuse taaskasutuse süsteemidega saab kuni 96% kasutatud energiast ära taastada, ära kasutada ja suruõhu tootmise kulusid oluliselt vähendada **(vt ptk 8, lk 20)**. Siiski peab ka soojustaastega suruõhuseadmetes olema täielik jahutussüsteem, mis aitab samuti palju raha säästa. Nii võivad õhkjahutuse korral olla kulud kuni 30% väiksemad kui vesijahutuse korral. Seega tuleks võimaluse korral eelistada õhkjahutust.

Kompressorjaama näide heitõhusüsteemiga ja termostaadiga juhitud lisaventilatsiooniga jahutuskuivatile

1. Kompressorite ümbrus

1.1 Trumbiks on puhtus ja jahedus

Õnnetusjuhtumite vältimise eeskirjas VBG 16 („13.4 Kompressor", § 12, lõik 1) on nõutud: „Kompressorid tuleb paigaldada nii, et nendele oleks tagatud piisav juurdepääs ja vajalik jahutus." Rakendussätted viitavad sellele, et keskkonnatemperatuur ei tohiks õhk- ja õlijahutusega seadmete puhul ületada +40 °C.

Peale selle sisaldab § 15 märkust: „... kompressorite sisseimemispiirkonnas ei tohi esineda ohtlikke lisandeid." Need on minimaalsed nõuded, mille eesmärk on hoida õnnetusjuhtumite oht võimalikult väiksena. Kuid ökonoomse ja vähese hooldusvajadusega kompressorikäituse jaoks läheb tarvis oluliselt enamat.

1.2 Kompressoriruum pole panipaik

Kompressori tööruum pole panipaik. Seal ei tohi olla üleliigseid seadmeid, tolmu ega muud mustust. Põrand peab olema võimaluse korral hõõrdekindel. Mitte mingil juhul ei tohi jahutusõhku – samuti ka tihendamiseks ettenähtud õhku – sisse imeda tolmu-, tahmaosakeste või muu seesugusega saastunud keskkonnast ilma intensiivse filtreerimiseta. Isegi tavaliste töötingimuste puhul tuleb kompressorite imemis- ja jahutusõhku puhastada filtritega.

1.3 Õige temperatuuriga kliima

Suurt mõju kompressorite töökindlusele ja hooldusvajadusele avaldavad ka temperatuuriolud. Imemis- ja jahutusõhk ei tohi olla liiga külm (< +3 °C) ega liiga soe (> +40 °C)*. Nii võib suvel päikesepaistelise ilmaga hoonete lõuna-, vahel ka lääneküljel õhk tugevalt soojeneda ja temperatuur tõusta üle 40 °C, seda ka parasvöötmes. Sellepärast on soovitatav mitte planeerida sisseimetava ja jahutusõhu avasid kohtadesse, kus esineb tugevat päikesekiirgust. Avade suurus oleneb kompressorite võimsusest ja ventileerimise viisist.

2. Kompressoriruumi ventilatsioon

Kompressoriruumi piisav õhutus on oluline mitte ainult õhk- vaid ka vesijahutusega kompressorite puhul. Igal juhul tuleb kompressoris tekkiv soojuskiirgus ja elektrilise ajamimootori heitsoojus välja juhtida – kokku moodustab see umbes 10% kompressori ajami võimsusest.

3. Erinevad ventileerimise viisid

3.1 Loomulik ventilatsioon

Jahutusõhk imetakse kompressorisse, soojendatakse, tõuseb siis üles ja juhitakse lõpuks valitseva ülerõhu tõttu ülalasetseva ventilatsiooniava kaudu ruumist välja **(joonis 1)**. Nii lihtne on see siiski vaid erandjuhtudel ja kui kompressori võimsus on väiksem kui 5,5 kW. Sest juba päikesekiirgus või ventilatsiooniavale mõjuv tuul võib seda loomulikku ventilatsiooni mõjutada.

3.2 Sundventilatsioon

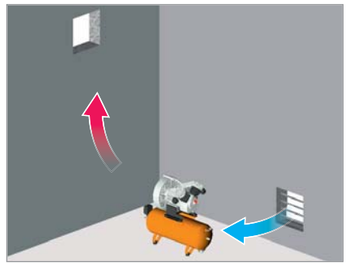
See meetod töötab juhitud jahutusõhuvooluga. Kui külmal aastaajal langeb temperatuur alla +3 °C, takistab see termostaadiga juhtimist. Liiga madal temperatuur vähendaks kompressorite talitlusvõimet, samuti kondensaadieraldust ja -töötlust. Termostaadiga juhtimine on vajalik, kuna kompressoriruumis valitseb sundventilatsiooni tõttu teatud alarõhk, mis takistab soojenenud õhu tagasivoolamist ruumi. On kaks võimalust.

3.2.1 Ventileerimine välise ventilaatoriga

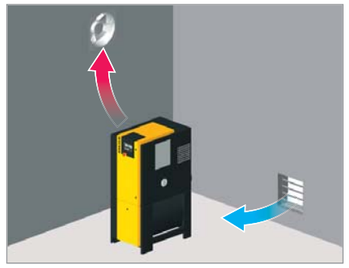
Kompressoriruumi ventilatsiooniavasse paigaldatud väline termostaatjuhtimisega ventilaator **(joonis 2)** imeb soojenenud õhu välja. Seejuures on oluline, et sisselaskeavad (all paremal) ei oleks liiga väikesed, kuna sellisel juhul võib tekkida tugev alarõhk, millega kaasneb liiga tugev ja suure müraga õhuvool. Pealegi kaasneks sellega jaama jahutamise oht. Ventilatsioon peab olema teostatud nii, et temperatuur ei tõuseks kompressori heitsoojuse mõjul üle 7 K. Vastasel korral võib tekkida soojuspaisumine ja kompressorid võivad rivist välja langeda.

3.2.2 Ventileerimine heitõhu kanaliga

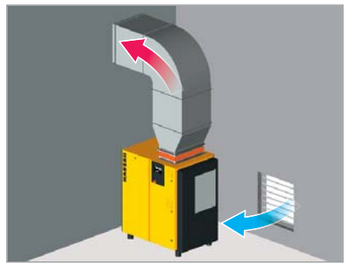
Üleni kapseldatud kruvikompressorid võimaldavad peaaegu ideaalselt ventileerimist heitõhu kanali abil. Kompressor imeb õhu ava kaudu sisse ja juhib soojenenud heitõhu kanalisse, mille kaudu see kompressoriruumist väljub **(joonis 3)**. Eeliseks on asjaolu, et jahutusõhuvoolu on võimalik rohkem soojendada, nimelt umbes temperatuurini 20 K. Sellega väheneb vajalik jahutusõhu kogus. Tavaliselt piisab heitõhu väljajuhtimiseks standardsetest ventilaatoritest kompressoritest. Võrreldes välise ventilaatori abil ventileerimisega ei teki siin lisaenergiakulu. See kehtib aga üksnes siis, kui ventilaatorite jääksurvet ei ületata. Peale selle peab väljatõmbekanalil olema termostaadiga juhitav ringleva õhu ribakatik **(joonis 4)**, et vältida kompressoriruumi liigset jahtumist talvel. Kui ka sinna on paigaldatud õhkjahutusega kuivatid, siis tuleb arvestada ka järgmist: kompressori ja kuivati ventilatsioonisüsteemid ei tohi vastastikku mõju avaldada. Kui temperatuur on üle +25 °C, tuleks lisaks suurendada jahutusõhu läbivoolu, kasutades termostaadiga juhitavat jahutuskuivati heitõhu süsteemi.



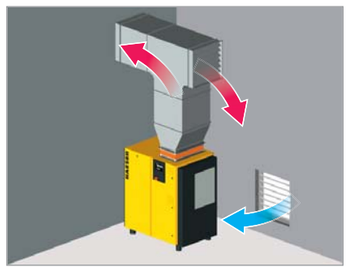
Joonis 1. Loomulik ventilatsioon seadmetele kuni 5,5 kW



Joonis 2. Sundventilatsioon ventilaatoriga – 5,5 kuni 11 kW seadmetele



Joonis 3. Sundventilatsioon heitõhu kanaliga – seadmetele alates 11 kW

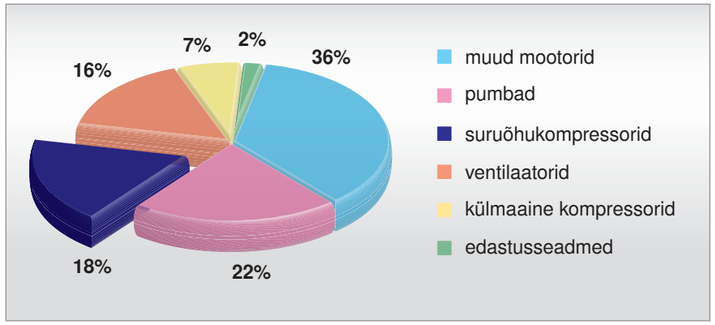


Joonis 4. Termostaadiga juhitav ringleva õhu ribakatik aitab temperatuuri ühtlustada

14. peatükk

Püsiv töökindlus ja optimaalsed kulud

Lehekülgedelt 22 kuni 33 saate lugeda, mida tuleb silmas pidada uute suruõhuvõrkude paigaldamisel või olemasolevate saneerimisel, samuti seda, kuidas peaks tõhusa kompressorjaama projekteerimine toimuma. Energia- ja kuluteadlik projekteerimine ja teostus on siiski parimal juhul vaid pool eesmärgist. Kes on huvitatud püsivalt ökonoomsest suruõhuga varustamisest, peab hoolitsema ka suruõhusüsteemi tõhusa töö eest.

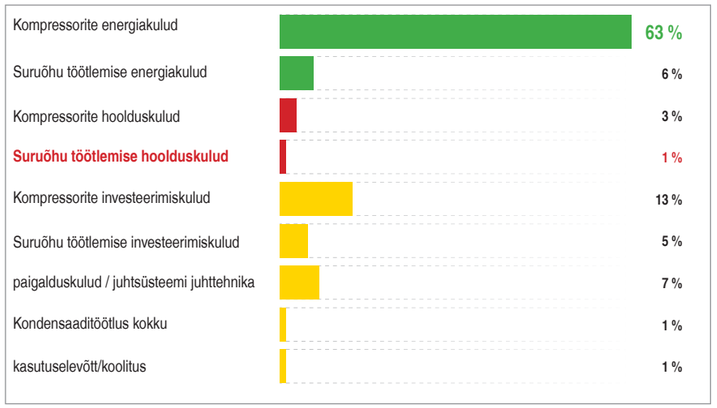


Joonis 1. Suruõhukompressorite osakaal tööstuslikult kasutatavate elektriajamite energiakulus EL-is (allikas: SAVE II (2000))

Võimalikult tõhus suruõhutootmine tasub end kliendile kolmekordselt ära. Varustuskindlus on suurem, suruõhukulud ja energiakulu on oluliselt madalamad. Efektiivsuse potentsiaal on kõrge: EL-i uuringu SAVE II järgi tarbisid Euroopa suruõhukompressorid 2000. aastal 80 miljardit kWh; vähemalt 30% sellest saaks kokku hoida **(joonis 1)**.

1. Mida tähendab optimaalne ökonoomsus?
Suruõhusüsteemi ökonoomsus peegeldub selle kulustruktuuris. Saavutatav optimaalsus on olenevalt ettevõttest ja tootmisest erinev. Otsustava tähtsusega on kompressorite tööajad, rõhutase ja muud kaubanduslikud parameetrid.

Siin on näitena toodud optimeeritud süsteem õhkjahutusega kompressorjaamaga: tööaeg 5 aastat, elektri hind 8 senti/kWh, intressimäär 6%, 7-baarine töörõhk, suruõhu kvaliteet standardi ISO 8573-1 kohaselt: jääkõli klass 1, jääktolmu klass 1, jääkvee klass 4. Näitest järeldub: ka optimaalsete tingimuste korral moodustab lõviosa suruõhu üldkuludest energiatarbimine umbes 70 protsendiga **(joonis 2)**. Coburgi rakenduskõrgkooli uuring leidis silmatorkavad kohad Saksamaal paigaldatud kompressorjaamades aastal 2003 (lisa 3, lk 35).



Joonis 2. Optimeeritud suruõhusüsteemi kulustruktuur

2. Ökonoomsuse säilitamine
Kes on huvitatud püsivalt ökonoomsest suruõhuvarustusest, peaks arvestama järgmiste oluliste punktidega.

2.1 Vajadusele vastav hooldus
Kompressori sisemised juhtimissüsteemid, nagu SIGMA CONTROL, ja tööstusarvutitel põhinevad suruõhu haldussüsteemid, nagu SIGMA AIR MANAGER 4.0, teavitavad täpselt kompressorjaama komponentide hooldusvälpadest. Seetõttu on võimalik teostada hooldustöid ennetavalt ja täpselt vajaduse järgi. Tulemus: madalamad hoolduskulud, suurem suruõhuvarustuse ökonoomsus ja töökindlus ning ühtlasi ettevõtte suurem tootmiskindlus.

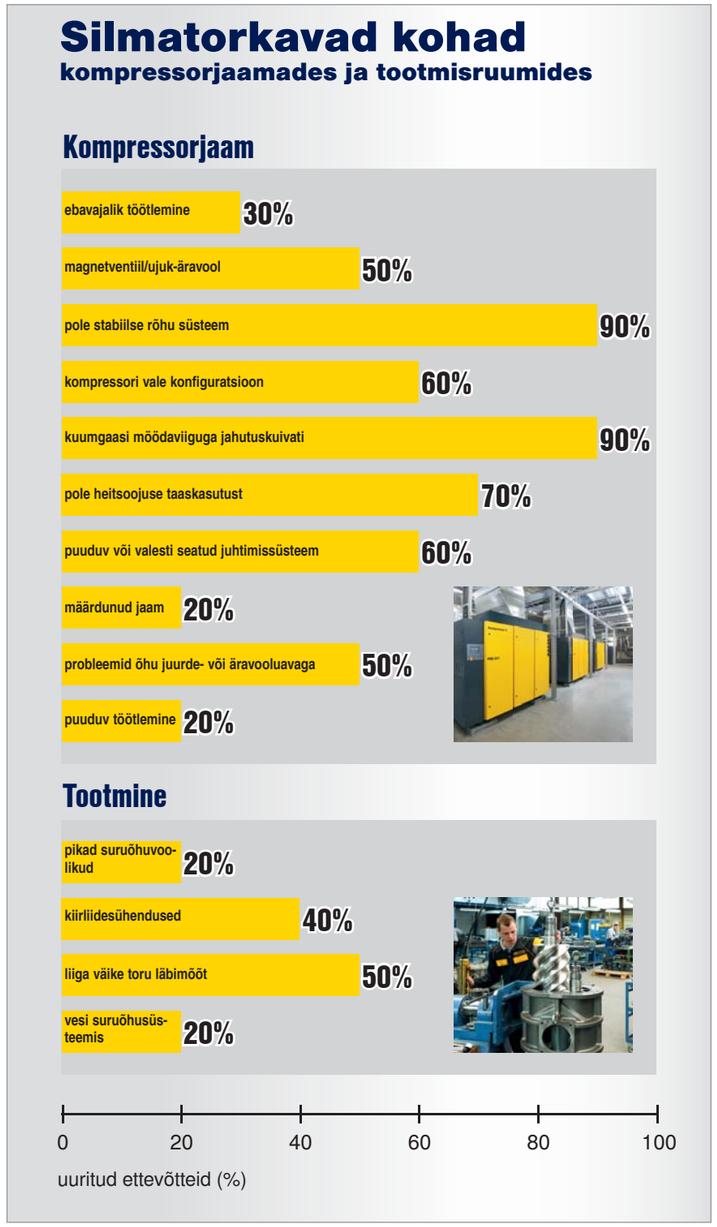
2.2 Sobivate tarbijate kasutamine
Mitte ainult tootmise, vaid ka tarbimise poolel võidakse vales kohas kokku hoida. Näiteks võidakse osta tootmismasinaid, mille soetamine on küll odav, kuid mis vajavad kõrgemat töörõhku. Sellest tingitud rõhu tõstmiseks ja/või suruõhusüsteemi laiendamiseks vajalikud juurdemaksed ületavad kiiresti sellise seadme hankekulud, mis saaks hakkama madalama töörõhuga nt 6 baari. Seetõttu tuleks tootmisseadmete ostmiseks välja töötada juhtnöörid, milles ei arvestata mitte üksnes elektri-, vaid ka suruõhuvarustust.

2.3 Muutunud tootmisest tulenevad nõuded
2.3.1 Suruõhu tarbimine

a) Tootmise ümberkujundamine
Kõikuv tarbimine on paljudes kohtades igapäevane. Sellele pööratakse sageli liiga vähe tähelepanu ja nii võib juhtuda, et pärast tootmise ümberkujundamist töötavad kompressorid ühes vahetuses järsku äärmiselt väikese koormusega, teises aga tarbivad nii palju õhku, et tarvitatakse ära ka turvavarud. Suruõhuvarustust tuleb seetõttu pidevalt muutuvate tootmisstruktuuridega kohandada.

b) Tootmise laiendamine
Sellisel juhul tuleb mitte ainult kompressori võimsused, vaid ka torustik ja suruõhu töötlemine teistsuguste tingimustega kohandada. Kui tootmismahtu soovitakse suurendada olemasoleva seadme uuesti ülesehitamisega, on soovitatav selle seadme suruõhutarve mõõtmise teel välja selgitada, et võimalikult täpset teavet saada ja varustust vastavalt kohandada.

2.3.2 Varustuskindlus
Tavaliselt varustatakse kompressorjaam ühe ooterežiimi-kompressoriga. Suruõhu töötlemise puhul seevastu loobutakse sageli turvavarudest. Kui tarbimine tõuseb, siis ooterežiimi-kompressor küll rakendub, kuid liiga väikese töötlemismahu tõttu kannatab suruõhu kvaliteet. Seega tuleb iga ooterežii-



Joonis 3. Originaali leiate suruõhutõhususe kampaania jaoks KAESER KOMPRESSORENi läbiviidud õhuauditite tulemuste analüüsist. Anja Seitzi diplomitöö, Coburgi rakenduskõrgkool, masinaehituse eriala (2003)

Püsiv töökindlus ja optimaalsed kulud

mi-kompressori jaoks planeerida ka üks töötlemisüksus (kuivati/filter).

2.3.3 Suruõhu kvaliteedi muutumine

Kui on vaja kvaliteetsemat suruõhku, siis tuleb kindlaks teha, kas see puudutab kogu tootmist või ainult ühte osa sellest. Esimesel juhul ei piisa tsentraalse suruõhutöötluse lisamisest. Ka torustik, milles seni voolas halvema kvaliteediga suruõhk, tuleb puhastada või välja vahetada. Teisel juhul on soovitatav kasutada eraldi suruõhu töötlemise seadet, mis toodab nõutava kvaliteediga suruõhku.

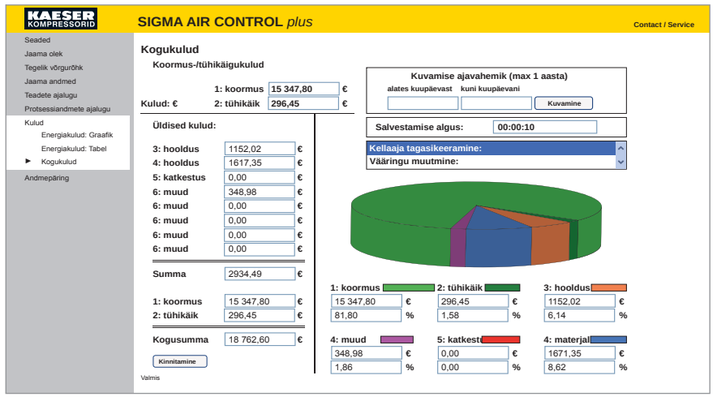
Joonis 4. Lekete tuvastamine ultraheliga

Selle kaitsmiseks tuleb paigaldada läbivoolupiiraja.
Vastasel korral võidakse liiga suure koguse suruõhu töötlemisel ületada selle võimsust, sest see pole kindlasti ette nähtud kompressori maksimaalse võimaliku tootlikkuse jaoks.

2.4 Lekete kontrollimine

Hoolimata korralikust hooldusest tekib lekkeid kõikides suruõhuvõrkudes. Sellega võivad kaasneda suured energiakaod. Peamine põhjus on tööriistade, voolikuühenduste ja masinaosade kulumine **(joonis 4)**.

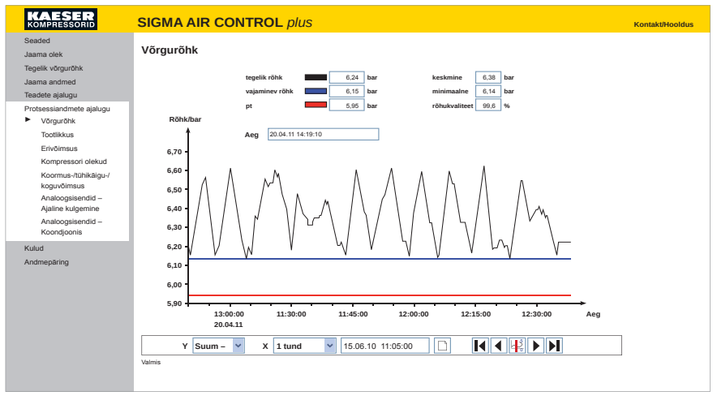
Seetõttu on oluline sellistele puudustele tähelepanu pöörata ja abinõusid tarvitusele võtta. Lisaks tuleks SIGMA AIR MANAGERi abil regulaarselt lekete üldkoguseid tuvastada. Kui ilmneb tõus, tuleb lekkekohad üles otsida ja kõrvaldada.



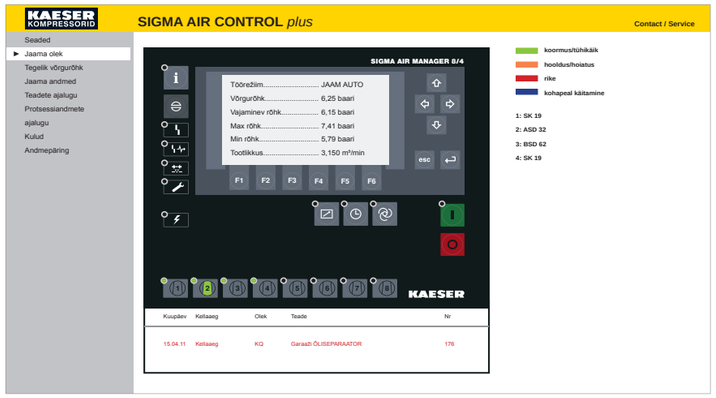
Joonis 5a. Haldussüsteem: suruõhu kulude analüüs (veebipõhine)

3. Kulude haldamine tagab ökonoomsuse

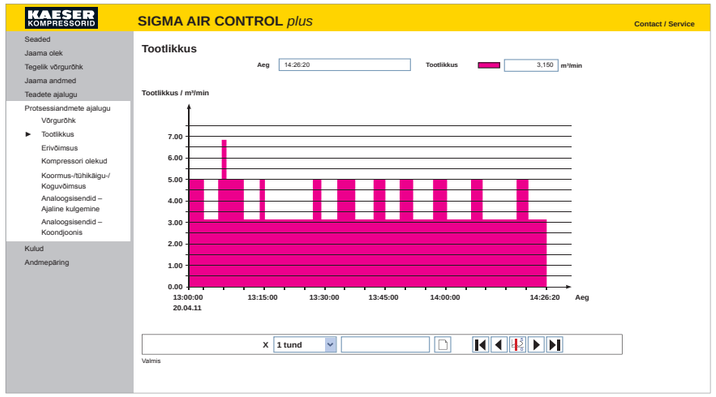
Projekteerimise käigus saadud analüüsiandmeid – kui neid on uuendatud – on hea kasutada ka hilisemas töös. Nende kogumiseks ei ole enam tarvis eraldi analüüse. Süsteemid, nagu SIGMA AIR MANAGER, võtavad selle töö enda kanda. See loob aluse suruõhuauditi ja tõhusa suruõhukulude halduse jaoks **(joonised 5a kuni e)**. Mida rohkem läbipaistvust kliendid oma suruõhukuludesse toovad, säästupotentsiaali uurivad ja suruõhukomponentide hankimisel energiakasutuse tõhusust esiplaanile asetavad, seda lähemale jõuavad nad eesmärgile, suruõhutootmise energiakulusid valdavalt 30% ja rohkem piirata – nii ettevõtte kasumi kui keskkonna hüvanguks.



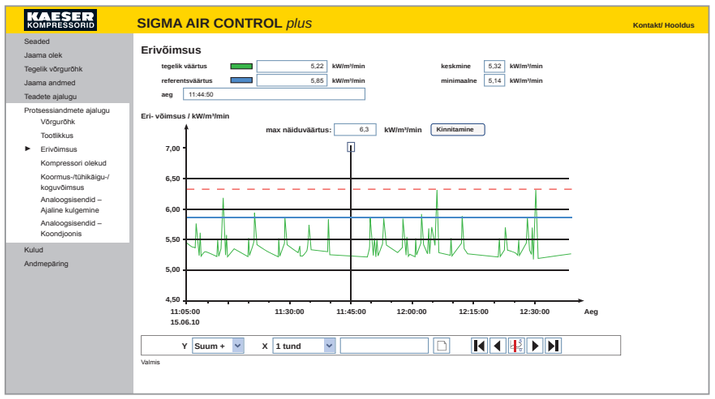
Joonis 5b. Rõhu kulgemine



Joonis 5c. Ülevaade Juhtimine ja haldussüsteem



Joonis 5d. Suruõhukulu



Joonis 5e. Spetsiaalne võimsustarve

Praktilised nõuanded

Nõuanded 1–7

40–51

1. nõuanne

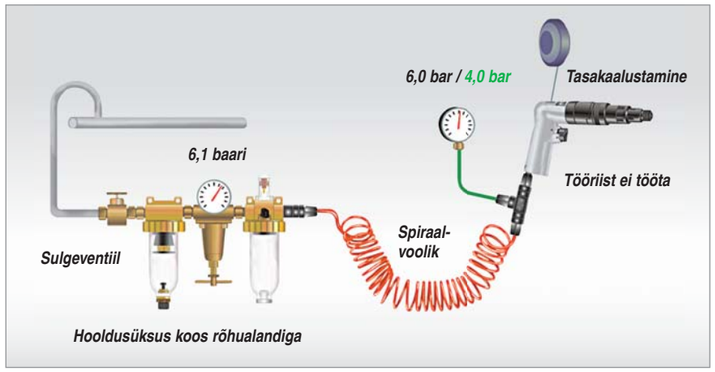
Optimaalse rõhuga säästmine

Suruõhusüsteemi ökonoomsus oleneb muuhulgas ka õigest töörõhust. Juba väikesed meetmed võivad olla väga tõhusad.

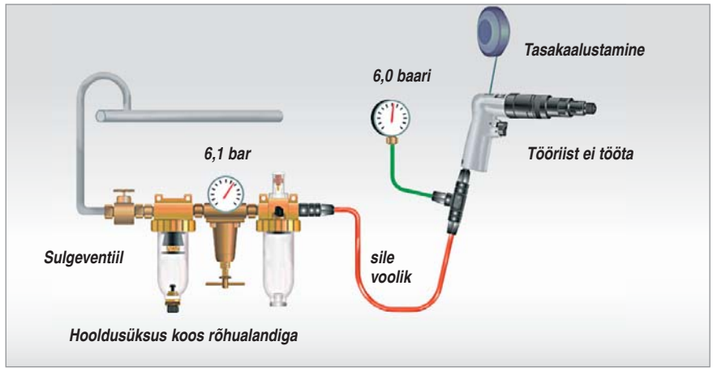
Sageli toimib ühendamine suruõhutööriistadega alljärgnevalt. Tööpausi ajal on hooldusüksuses rõhk 6,1 ja tööriistas 6,0 baari. See rõhk ei võrdu siiski õhukulu rõhuga.

Rõhk langeb tööriistas – mida teha?
Sageli näitab rõhumõõtmine töötava tööriista puhul olulist rõhulangust. Käesoleva näites on see 2 baari; seega töötab tööriista ainult 54% juures oma võimalikust võimsusest.
Põhjuste kõrvaldamine on sageli lihtne.
a) Liiga väike ühenduse ristlõige: kasutage suurema läbilaskeavaga kiirliitmikku.
b) Valesti seatud rõhualandi: avage rohkem.
c) Liiga madal süsteemirõhk: suurendage rõhku põhivõrgus või paigaldage suurema ristlõikega torustik.
d) Liiga väike spiraalvoolik: kasutage suuremat spiraalvoolikut või – veelgi parem – siledat voolikut.
e) Rõhulangus detsentraalses veeseparaatoris: suruõhu tsentraalne kuivamine (separaator üleliigne).
Nende meetmetega saab saavutada tööriistade optimaalse rõhu (antud juhul 6 baari). Võimsus on sellisel juhul 100%.

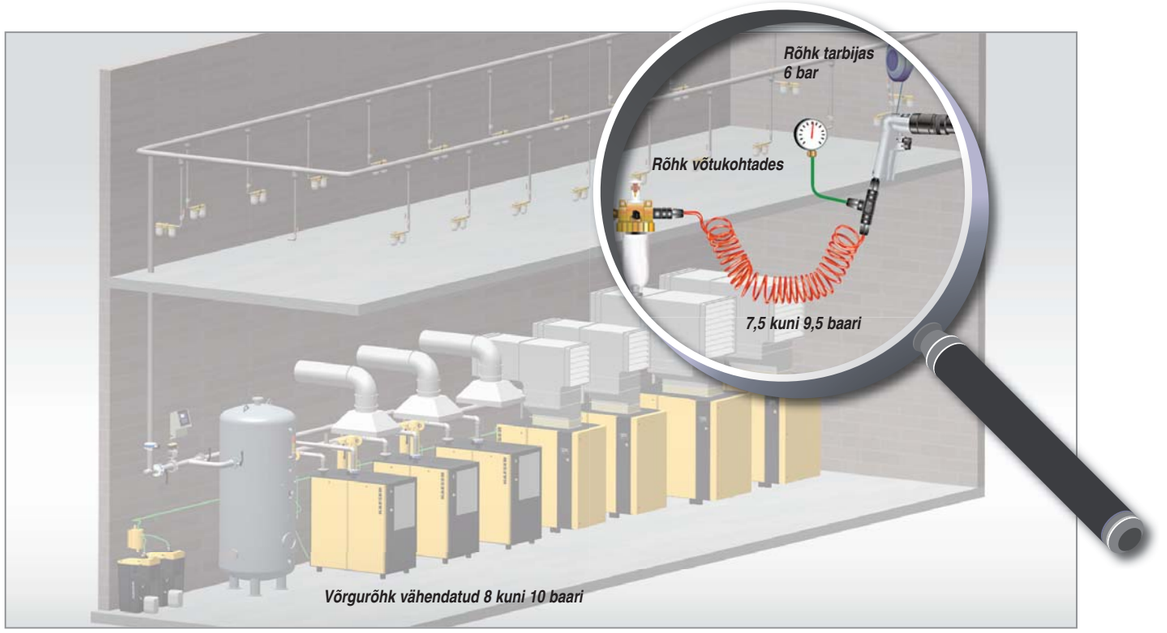
Säästke energiat – õige pöördega
Rõhualandajad mõjutavad suruõhu kasutuse tõhusust tugevamalt kui sageli arvatakse. Käesolevas näites käitatakse suruõhusüsteemi 8–10 baariga. Võtukohtades olevad 7,5 kuni 9,5 baari vähendatakse rõhualanditega 6 baarile. Energia säästmiseks vähendatakse süsteemirõhku 6,8 kuni 7 baarini. Nii on võtukohtades 6,1 baari, kuid tööriistade jaoks ainult 4 baari. Tagajärjed: töö kestab kauem, töötulemused on viletsamad liiga madala tööriistarõhu tõttu ja kompressor peab kauem töötama. Eesmärgiks seatud sääst on samas kergesti saavutatav, kui ei vähendada mitte ainult süsteemirõhku, vaid lisaks kasutatakse siledaid voolikuid, eemaldatakse üleliigsed veeseparaatorid ning tarbijate rõhualandeid avatakse rohkem.



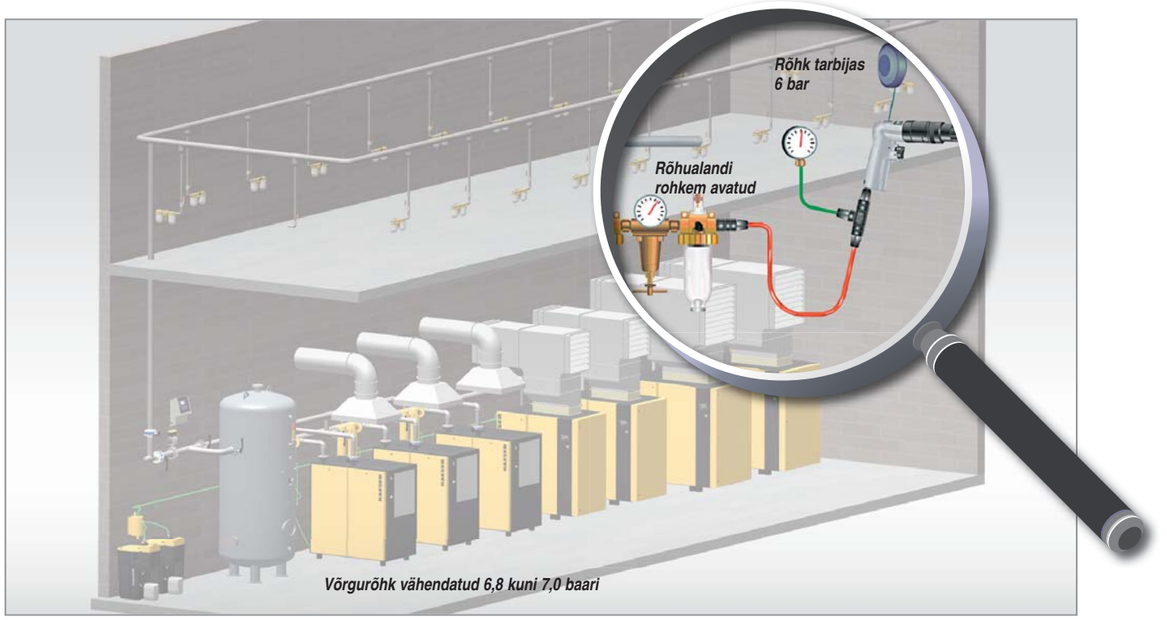
Tööriista ühendamine spiraalvoolikuga – rõhk 6,0 baari suruõhu nulltarbimise korral.
4,0 baari tööriista töö ajal = 2 baari rõhulangust
tööriista töö ajal: ainult 54% võimsust!



Veeseparaatorid ja spiraalvoolikud on energiaõgijad: kuivatage selle asemel suruõhku tsentraalselt ja kasutage siledaid voolikuid



Puhas energia raiskamine: liiga kõrge tihendamine ja seejärel tarbijas rõhu vähendamine ...



... selle asemel: langetage süsteemirõhku ja avage rõhualandit rohkem

2. nõuanne

Õige rõhk õhuühenduses

Rõhk kompressorjaamas on õige, kuid õhutarbijate juurde jõuab seda ikkagi liiga vähe. Milles on probleem?

Nii mõnigi kord juhtub, et voolikud, kiirliitmikud või rõhualandid on probleemiks. Sageli on aga rõhk juba võrgu võtukohas liiga madal. Nii võib juhtuda, et esialgest 6,8 kuni 7 baarist jääb tarbijatele vaid nigelad 5 baari üle.

Abinõu leidmine käib tavaliselt kähku: „Tõstame jaama rõhku 1 baari jagu, mis seal siis ikka!" Kuid just siin on tegu kriitilise kohaga, sest iga baar rõhutõstmist ei tõsta mitte ainult kompressorjaama energiavajadust 6% jagu, vaid suurendab olulisel määral ka lekkimist. Seega on vägagi mõistlik tuvastada põhjus ja võtta tarvitusele abinõud.

Vea allikaks on torustikuvõrk

Kui rõhk on õige vahetult pärast kompressorit ja järeleühendatud töötlemiskomponendid ei vähenda seda olulisel määral, saab viga olla vaid torustikuvõrgus. See jaotub kolmeks osaks: põhitoru, jaotustoru ja ühendustoru **(joonis 1)**. Optimeeritud suruõhusüsteemis on alljärgnevad rõhulangused ökonoomselt vastuvõetavad.

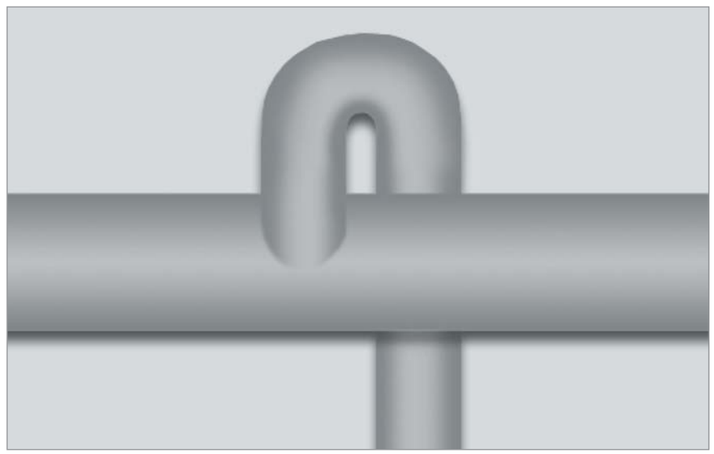
põhitoru (1):	0,03 bar
jaotustoru (2):	0,03 bar
ühendustoru (3):	0,04 bar
Sellele lisanduvad:	
kuivati (4):	0,2 bar
hooldusüksus/voolik (5):	0,5 bar
kokku:	**0,8 bar**

Kitsaskohtade kõrvaldamine

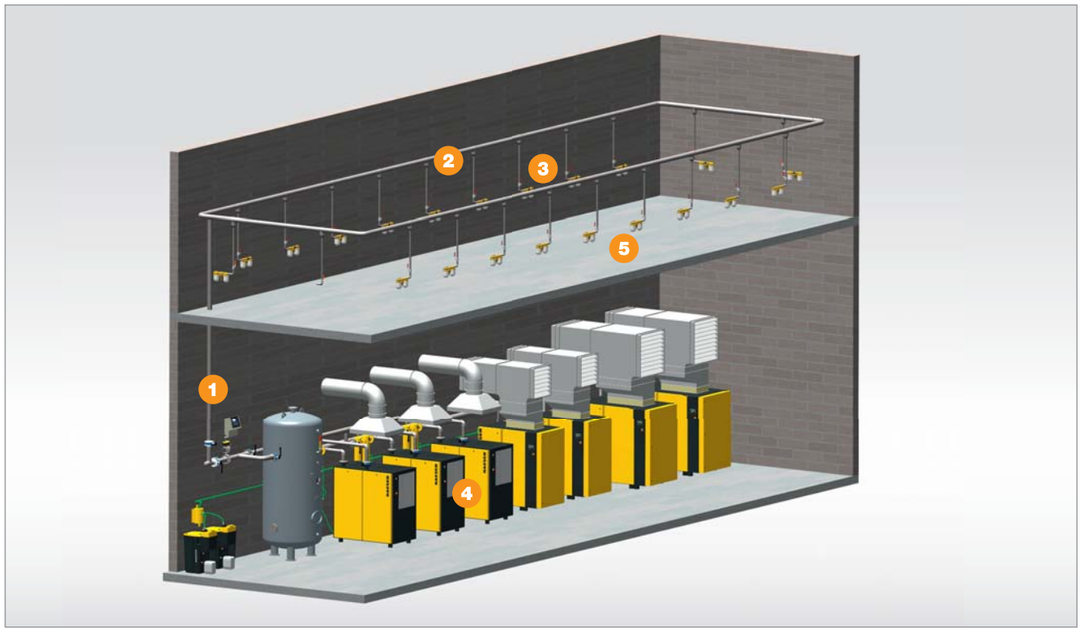
Täpsemal vaatlemisel selgub sageli, et põhi- ja jaotustorud on küll piisavate mõõtmetega, kuid ühendustorud on liiga väikese läbimõõduga. Nende läbimõõt ei tohiks olla väiksem kui DN 25 (1"). Ristlõike täpseks tuvastamiseks pakub KAESER KOMPRESSOREN oma veebisaidil tööriista:
http://www.kaeser.ee/Online_Services/Toolbox/Pressure_drop/
Lisaks saab kasutada ka spetsiaalselt **nomogrammi**. Leiate selle **1. lisast, lk 54**.

Pöörake tähelepanu õigele ühendamisele

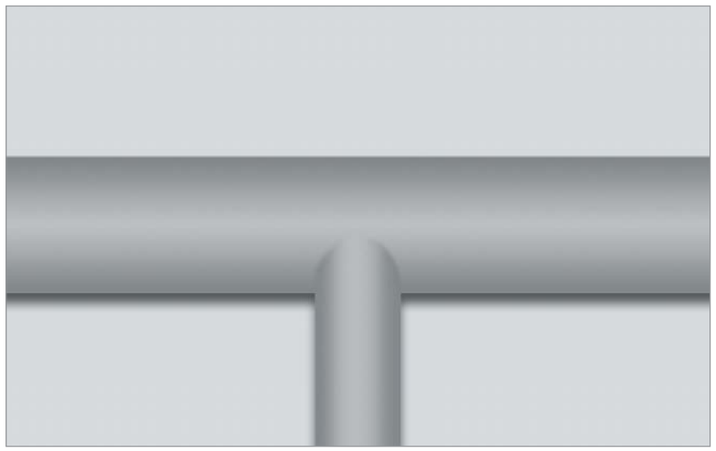
Tekkida võivast niiskusest tulenevate tõrgete ja kahjustuste vältimiseks peaks ühendus jaotus- ja ühendustoru vahel olema teostatud voolamist soodustava luigekaela-kujulisena **(joonis 2)**. Ainult siis, kui on sajaprotsendiliselt tagatud, et torustikus ei teki kondensatsioonivett, saab valida ka otse alla suunatud torulanguse **(joonis 3).**
Optimeeritud ühendamine maksimaalselt 1-baarise rõhulangusega kompressori suruõhu väljumisava ja õhutarbija vahel näeb siis välja selline, nagu on näidatud **lk 40.**



Joonis 2. Luigekaela-kujuline



Joonis 1. Suruõhu jaotussüsteemi põhilised koostisosad: põhitoru (1), jaotustoru (2), ühendustoru (3), kuivati (4), hooldusüksus/voolik (5)



Joonis 3. Otse allasuunatud torulangus

3. nõuanne

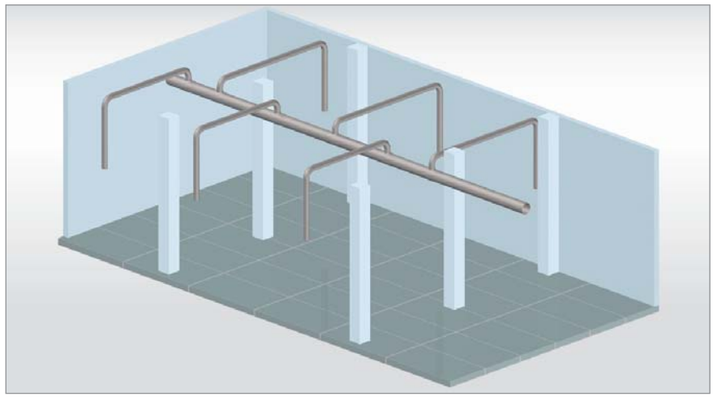
Suruõhu tõhus jaotamine

Millist kolmest suruõhu jaotamise viisist – harutoru, ringtoru, võrk – töö jaoks kasutada, oleneb töötingimustest. Kes soovib suruõhku ökonoomselt kasutada, peab tagama mitte ainult energiasäästliku, vaid ka võimalikult tõhusa ettevõttes jaotamise. Siin saate teada, kuidas seda teha.

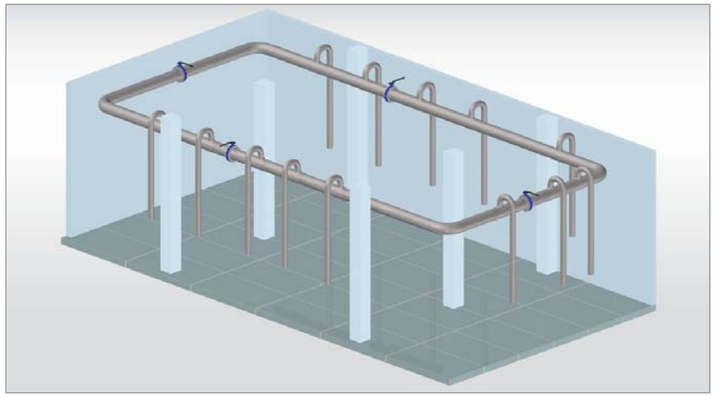
Harutoru
Üksikute suruõhutarbijateni viivate kanalitega harutoru **(joonis 1)** paigaldamine on suhteliselt lihtne. Paigaldatava toru pikkus on küll suhteliselt väike, kuid see peab olema piisava edastamismahuga kogu õhutarbimise jaoks.
See tähendab, et selle ristlõige peab olema oluliselt suurem, võrreldes ringtorudega või võrguga. Ka tarbijateni viivad ühendustorud peavad olema suurema kauguse tõttu pikemad ja seega vastavate mõõtmetega. Kuna pole võimalik torustikusüsteemi osaliselt täiendamis- või saneerimistööde jaoks sulgeda, on harutorudega süsteemid tavaliselt sobivad ainult väikeste ettevõtete jaoks.

Ringtoru
Ringtorudel **(joonis 2)** on hoolimata suuremast paigaldustööde mahust harutorudega võrreldes oluline eelis. Kui kasutatakse ühesuguse suruõhuvajadusega tarbijaid, võivad torustiku pikkused ja mahud olla poole jagu väiksemad. Seega piisab, kui kasutada sama transpordimahu jaoks väiksemaid torude ristlõikeid. Lühikesed ühendustorud on harva suuremad kui DN 25. Piisav arv sulgeüksuseid võimaldab üksikuid torustikulõikusid saneerimis- ja täiendamistöödeks eraldada, ilma et oleks vaja kogu tööd peatada.

Võrk
Suuremõõdulise struktuuriga ettevõtete puhul tuleks kasutada toruvõrku – ehk siis piki- ja ristiühendustega võrgustruktuuriks ehitatud ringtoru **(joonis 3)**. Paigaldustööde ulatus on siin küll suurim, kuid eelised on veenvad.



Joonis 1. Suruõhu harutoru



Joonis 2. Suruõhu ringtoru

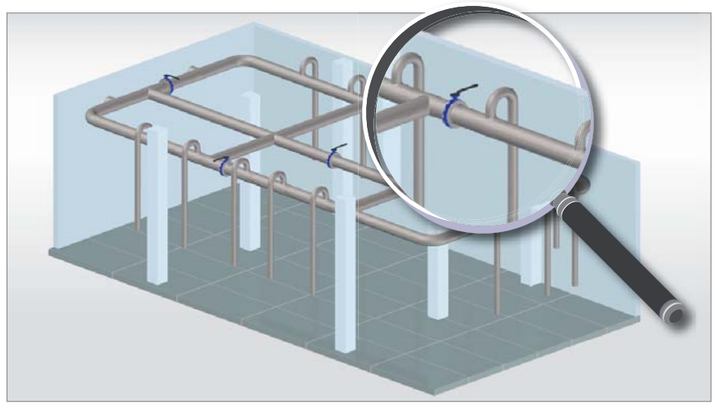
Võrgustruktuuri tõttu saab varustada suuri tootmishalle usaldusväärselt ja energiasäästlikult suruõhuga, ilma et torustiku mõõtmed peaksid olema liiga suured. Lausa vastupidi: võrgustruktuuri tõttu saab siin – sarnaselt väiksemate või keskmiste ettevõtete rõngastorudele – kasutada võrdlemisi väikseid mõõtmeid. Ka seda süsteemi saab vajaduse korral osaliselt blokeerida.

Põhitoru(de) teostamine
Suruõhusüsteemi põhitoru ühendab üksikute ettevõttealade (hoonete) jaotustorusid kompressorjaamaga (tootmine).

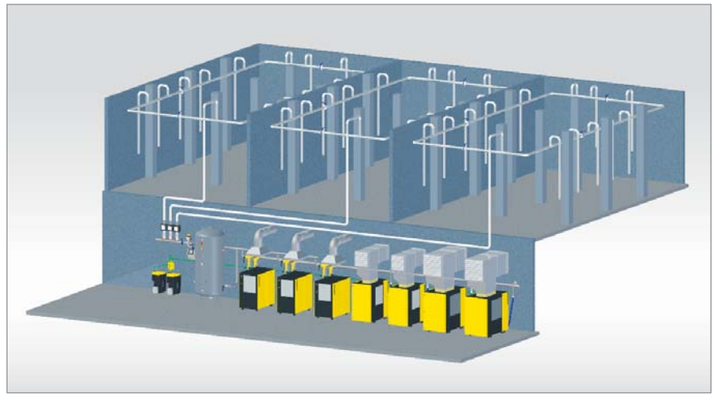
Suruõhu põhitoru mõõtmete valimisel on määrav tegur kasutatud kompressorite koondtootlikkus. See määrab toru mõõtmed ja mahutavuse. Rõhukadu ei tohiks olla suurem kui 0,03 baari.

Ühe jaamaga varustamine
Kui üks kompressorjaam varustab mitut ettevõtte ala (tootmishalli), siis peavad vastavate alade põhitorud olema maksimaalse suruõhuvajaduse jaoks sobivate mõõtmetega (rõhukadu < 0,03 bar). Kompressorjaamas torukollektorisse kogutud torude eeliseks on, et vajaduse korral saab tervete ettevõtte alade suruõhuvarustuse lihtsalt blokeerida. Paigaldatud voolu mahu mõõteseadmetega saab lisaks kergesti tuvastada üksikute alade õhukulu **(joonis 4)**.

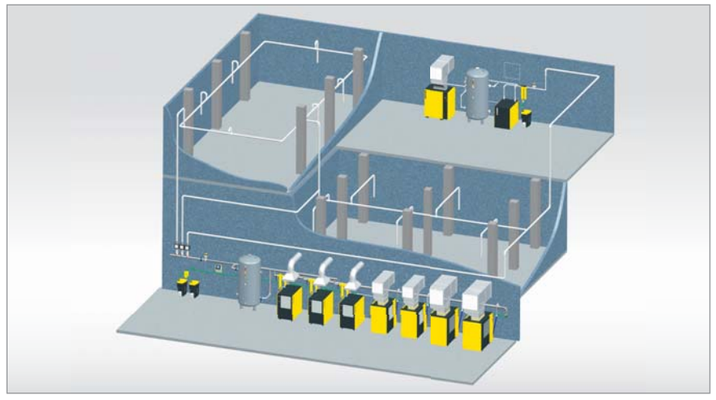
Mitme jaamaga varustamine
Kui kaks või enam kompressorjaama toidavad suurt põhitorusüsteemi, peavad selle süsteemi torud olema selliste mõõtmetega, et suurima jaama maksimaalne tootlikkus jõuaks kõikidele ettevõtte aladele. Rõhukadu üksikute jaamade vahel ei tohiks taas olla suurem kui 0,03 baari. Vastasel korral läheks tarvis keerulisi reguleerimissüsteeme
(joonis 5).



Joonis 3. Suruõhuvõrk toruliidetega



Joonis 4. Suruõhuga varustamine ühe tsentraalse kompressorjaamaga mitme tootmisala jaoks



Joonis 5. Suruõhuga varustamine kahe jaamaga ja tsentraalse reguleerimisega mitme tootmisala jaoks

4. nõuanne

Kompressorjaama torustik

Lisaks suruõhu jaotamisele ettevõttes on torustikul ülesanne ühendada kompressoreid ja muid kompressorjaama osi terviksüsteemiga. Et saavutada ka siin võimalikult suurt töökindlust ja tõhusust, tuleb paigaldamisel jälgida mitut olulist punkti.

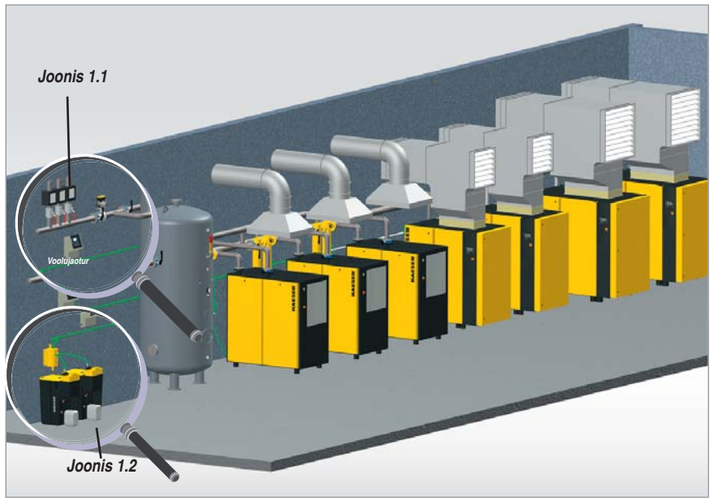
Üldiselt peaksid kompressorjaama torustikud olema sellised, et nende põhjustatud rõhukadu oleks maksimaalse tootlikkuse korral väiksem kui 0,01 baari. Lisaks sellele tuleks seal täpselt teadmata soojuskoormuse tõttu kasutada ainult metalltorusid.

Suruõhu jaotustorude ühendamine
Selleks, et ühendada jaama torustikku suruõhuvõrguga, tuleks kasutada kollektorit, millest väljuvad kõik jaotustorud **(joonis 1.1)**. Nii saab vajaduse tekkimisel teatud ettevõttealade varustamise blokeerida.

Paigaldamine niiskesse kohta
Niiske suruõhuga kohas, st torustiku lõikudes pärast kompressoreid ja enne kuivateid, tuleks võimalusel vältida veekoti kasutamist. Vastasel korral peab torustikul olema langus veekoti suunas ja peab olema võimalik seda sihilikult kondensaadi äravoolu kaudu tühjendada **(joonis 2)**.

Komponentide õige ühendamine
Kompressorjaama piires tuleb üksikud komponendid (kompressorid, kuivatid jne) ühendada põhitoruga põhimõtteliselt ülevalt poolt. Alates toruläbimõõtudest DN 100 võib neid ühendada ka küljelt **(joonis 3 a/b)**.

Kompressorite ühendamine
Vibratsioonide ülekandmise vältimiseks tuleb kompressorid ühendada toruvõrguga vibratsioone summutavalt. Toru läbimõõtude < DN 100 puhul saab kasutada voolikühendusi **(joonis 4)**. Vooliku ja esimese torupõlve vahele



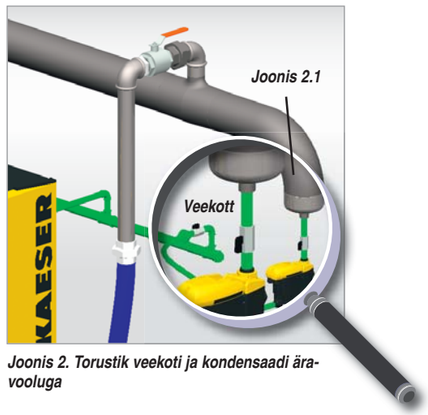
Joonis 1. Kompressorjaam koos torukollektoriga

paigaldatakse kinnitus, mis püüab tekkivad jõud kinni ja tõkestab seeläbi nende ülekandmise torule **(joonis 4.1)**. Toruläbimõõtude > DN 100 puhul tuleb vooliku asemel kasutada aksiaalkompensaatoreid **(joonis 3b)**, et ühendada kompressor toruvõrguga vibratsioone summutavalt.

Kondensaadi turvaline eemaldamine
Tekkiva kondensaadi usaldusväärne eemaldamine on optimeeritud töökindluse ja kompressorjaama kättesaadavuse üks põhiline eeldus. Vigade vältimine on siin väga oluline, eriti just kondensaadi äravoolude paigaldamisel.

Hoolimata moodsast ärajuhtimistehnikast paigaldatakse ühendustorud sageli kondensaadi töötlemissüsteemi külge valesti. Kes aga tegutseb **alljärgnevate nõuannete** alusel, ei tee neid vigu ja ei riski.

Kondensaadi äravoolu sulgemine
Kondensaadi äravooludel peab mõlemal küljel olema kuulkraan, et neid saaks hooldamiseks probleemivabalt süsteemist eraldada **(joonis 2.1)**.



Joonis 2. Torustik veekoti ja kondensaadi äravooluga

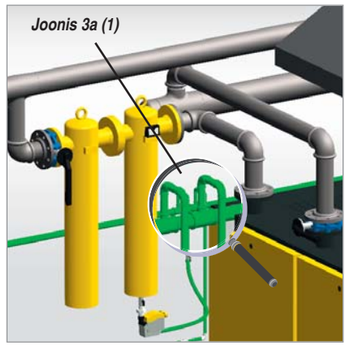
Õige ühendamissuurus
Ühendus kollektoriga peab olema vähemalt 0,5 tolli. Ainult nii saab vältida asjatut dünaamilist rõhku.

Ülevalt ühendamine
Kondensaadi äravoolud tuleb ühendada kollektoriga ülevalt, et äravoolukohad ei saaks üksteist vastastikku mõjutada **(joonis 3a (1))**.

Rõhuta toru – langusega
Igal juhul peab kondensaadikollektor olema paigaldatud vaba langusega. Lisaks peab see olema rõhuvaba. Ainult sellistesse torudesse tohib juhtida erineva rõhutasemega erinevate süsteemikomponentide (tsüklonseparaator, suruõhumahuti, jahutuskuivati, suruõhufilter) kondensaadi äravoolusid. Kui see pole võimalik, tuleb kasutada erinevaid ühenduskohti kondensaadi töötlemisseadmes (Aquamat).

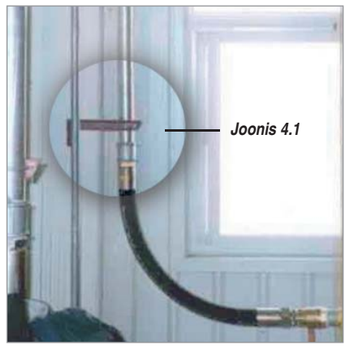
Mitu töötlemisseadet
Kui tekkiva kondensaadikoguse tõttu läheb tarvis mitut töötlemisseadet, siis tuleb peamine kondensaadi äravool ühendada voolujaoturi kaudu **(joonis 1.2)**.

Süsteemirõhk üle 15 baari
Süsteemide puhul, mille rõhutase on üle 15 baari, tuleb enne kondensaadi juhtimist töötlemisseadmesse paigaldada eraldi kõrgrõhu alanduskamber.



Joonis 3a. Jahutuskuivati ja kondensaadi äravoolu ühendamine (kumbki ülevalt)

Joonis 3b. Vibratsiooni summutav kompressoriühendus aksiaalkompensaatoritega



Joonis 4. Vibratsioonisummutusega kompressoriühendus voolikuga

5. nõuanne

Kompressorite õige paigaldamine

Paigaldus- ja keskkonnatingimused mõjutavad suruõhu tootmise ökonoomsust ja usaldusväärsust olulisel määral. Siin tuleb järgida esmajoones kolme käsku.

1. Tagage jaamas puhtus
Paljude kompressorjaamade puhtus ja hooldusseisund jätab soovida, kuigi mitte just igal pool pole olukord selline, nagu **joonisel 1**. Puhtuse tagamine tähendab esmajoones seadmete kaitsmist tolmu eest. Vastasel korral

Joonis 1. Hooletusse jäetud kompressorjaam

ummistuvad kompressorite õhu sisseimemisfiltrid kähku; selle tagajärjel tuleb sagedamini hooldada, võimsus on viletsam ja õhkjahutus toimib halvemini. Teisteks tagajärgedeks võivad olla kompressori tööhäired ülekuumenemise tõttu, kuivati võimsuse vähenemine, sellega kaasnev suurem kondensaadi teke koos tarbijate kahjustamise ohuga ja tootmiskvaliteedi vähenemine. Kui tolmu teket ei saa sobiva asukoha valimisega vältida, tuleks sisseimetava õhu puhastamiseks kasutada riidest õhufiltreid **(joonis 2a, 2b)**.

2. Mõõdukas temperatuur
Külmal aastaajal tuleb tagada kompressorjaama külmumiskindlus. Esiteks toimub seal enne töötlemist niiske suruõhu tekitamine ja transportimine. Miinuskraadide puhul kondensaadi tõttu külmunud torud võivad põhjustada töös tõsiseid häireid. Teiseks on kompressorite õlid ja laagrite määrdeained temperatuuril alla +5 °C piiratud

Joonis 2a. Riidest õhufilter (imipool)

Joonis 2b. Riidest õhufilter (kompressori pool)

määrdevõimega; ka sellega võivad kaasned häired töös. Suvel seevastu tuleb nii palju kompressori heitsoojust ära juhtida, et ruumitemperatuur ei ületaks välistemperatuuri. Vastasel korral võivad mootorid ja elektroonikakomponendid üle kuumeneda ja kuivatis võib tekkida ülekoormus liiga vähese suruõhujahutuse tõttu. Tagajärjeks oleks kondensaadi teke ja tõrked tarbijatel. Halvimal juhul viib ebapiisava õhu juurde- ja äravoolu poolt tekitatud soojusummik kompressorite ja kuivatite täieliku seiskumiseni ja seega suruõhuvarustuse täieliku katkemiseni.
Seda aitavad vältida jahutussüsteemid, mis reguleerivad automaatselt kompressorjaama soojust termostaadiga juhitud õhu juurde- ja äravoolu ning ringlusega **(joonis 3)**.

3. Vähese hooldusvajadusega jaam
Moodsad kompressorid ja töötlemisseadmed on küll vähese hooldusvajadusega, kuid päris ilma siiski ei saa. Need tuleb paigaldada selliselt, et hooldusokohtadele pääseks raskusteta ligi. Suruõhutootmise maksimaalne ökonoomsus ja usaldusväärsus on võimalik ainult siis, kui võetakse arvesse kõiki kolme siin nimetatud kriteeriumit.

Joonis 3. Kompressorjaam termostaadiga juhitud õhujuhtimisega

6. nõuanne

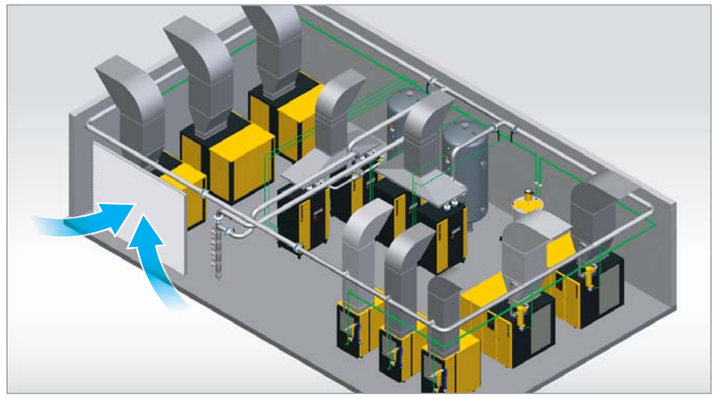
Kompressorjaamade õhutamine

Kompressorjaama õige õhutamine võib anda olulise panuse suruõhu kättesaadavusse ja hoolduskulude vähendamisse.

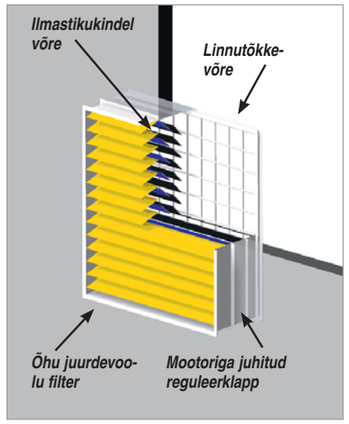
1. Õhu sisselaskeavade õige asukoht
Kompressorjaama õhutamise tagamiseks on õhu sisselaskeavade asukoht väga oluline. Töökindluse ja usaldusväärsuse tagamiseks peab väljast tulev õhk olema võimalikult väikeste ilmastikumõjudega. Nii tuleks paigaldada õhu juurdevooluavad jaama välisseina alumisse ossa sellele küljele, mis pole päikese poole suunatud, lisaks peavad avad olema ilmastiku eest kaitstud.

2. Mustuse ja saaste eemalhoidmine
Tolmu ja saaste sisseimemine peab olema viidud miinimumini. Selle alla kuuluvad agressiivsed ja süttivad ained, samuti sisepõlemismootorite heitgaasid. Veokid ei tohiks sõita kompressorjaama õhu sisseimemisalas. Kui tolmu ja saaste teket pole võimalik vältida jaama läheduses, tuleb kindlasti võtta vastavaid kaitsemeetmeid. Mõõduka saastekoormuse korral on abi jahutusõhu filtrist, äärmisel juhul nn tolmupüünised.

3. Õhu juurdevooluavade õige mõõdu valimine ja varustamine
Õhu juurdevooluavade suurus lähtub esmalt olemasolevate õhkjahutusega kompressorite võimsusest. Ühe kilovati paigaldatud nimivõimsuse kohta tuleb määrata õhu juurdevooluavade jaoks ristlõige 0,02 kuni 0,03 m². See vastab jahutusõhu kogusele 130 kuni 230 m³/h. Eriti hoolikalt tuleb jälgida vaba ristlõike väärtust. Ilmastikukindlad võred, ribikatikud ja ebasoodsate imemistingimuste puhul vajalikud filtrid vähendavad seda ristlõiget olulisel määral. Olenevalt õhutussüsteemist on vähendav mõju 30 kuni 60%. Tasub valida võimalikult voolamist soodustavad õhutussüsteemid. Igal juhul tuleb tasakaalustada kaitse- ja reguleerimisseadete põhjustatud ristlõike vähenemised.
Tavaliselt koosneb õhu juurdevoolusüsteem **(joonis 1)** linnutõkkevõrest, ilmastikukindlast võrest, mootoriga käitatavast õhu juurdevoolu reguleerklapist ja vajaduse korral õhu juurdevoolu filtrist. Mitme kompressoriga jaamade puhul tuleks juhtida õhu juurdevoolusüsteeme termostaadiga ja jaotada nende avad lähtuvalt üksikute seadmete asukohast ja võimusest **(joonis 2)**.



Joonis 2. Kompressorjaamad õhu juurdevoolusüsteemidega



Joonis 1. Õhu juurdevoolusüsteem (ülesehitus)

4. Ka vesijahutusega kompressorid vajavad õhutust
Ka vesijahutusega kompressoreid käitavad tavaliselt õhkjahutusega mootorid ja neist kiirgub soojust, seega vajavad nad ka piisavat õhutust. Umbes 20% vesijahutusega kompressori paigaldatud võimsusest tuleb jahutusõhu abil ära juhtida heitõhuna. Seepärast läheb ka sel juhul tarvis piisava suurusega õhu juurdevooluavasid.

7. nõuanne

Õhu eemaldamine kompressorjaamadest

Kes tahab suruõhu kättesaadavust tagada ja hoida hoolduskulud madalal, peab kompressorjaamast õhku piisavalt välja juhtima. Kui välistemperatuur langeb alla +5 °C, tuleb jaama tööruumi temperatuuri reguleerida ringlusõhuga.

1. Heitõhu lihtne juhtimine
Heitõhu kanalid täidavad kompressorjaamas olulist ülesannet. Nad eemaldavad soojenenud jahutusõhu ja koos sellega kompressori mootorite heit- ja kiirgussoojuse **(joonis 1)**. Moodsate masinate puhul lahkub erinevatest allikatest pärinev heitsoojus seadmest ühe ainsa heitõhuava kaudu **(joonis 1, luup)**. See tuleb ühendada purjeriidest elastse muhvi abil paindlikult heitõhu kanaliga **(joonis 2,)**. Kui välistemperatuur on üle +10 °C, eemaldatakse sedasi kogu õhu kaudu ära juhitud soojuskogus kompressori tööruumist. Vanemate kompressorite sageli eraldatud heitõhu juhikutele tuleb paigaldada vajaduse korral eraldi kanalid.

Joonis 2. Kompressori õhutusühendus purjeriidest muhviga

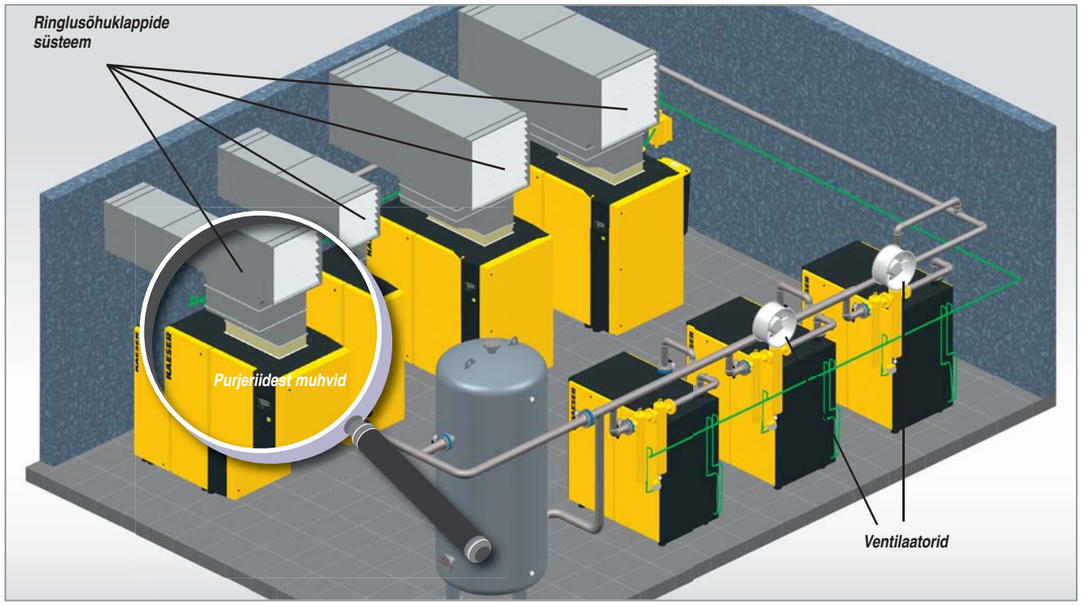
2. Kogumiskanali paigaldamine
Kui üksikud heitõhu kanalid pole ehitustehniliselt võimalikud, on lahenduseks heitõhu kogumiskanal **(joonis 3)**. Kompressorite õigeks ühendamiseks läheb tarvis tagasilöögi-ribikatikuid. Suletuna ei lase nad vastava kompressori seismise ajal soojal õhul jaama tagasi voolata. Mootoriga rakendatavad reguleerklapid vähendavad rõhukadu ja neid saab käitada signaaliga „mootor töötab". Juhtplekid kogumiskanalis aitavad vältida rõhukadu.

3. Temperatuuri reguleerimine ringlusõhuga
Kui välistemperatuur on alla +5 °C, tuleb kasutada ringlusõhuklappide süsteemi, mis aktiveeruvad alates+10 °C, ehk siis avanevad olenevalt temperatuurist rohkemal või vähemal määral **(joonis 1)**. Ajutiselt täiesti seisma jäetud kompressorjaamade puhul tuleb lisakütte abil hoida tööruumi temperatuuri üle +5 °C.

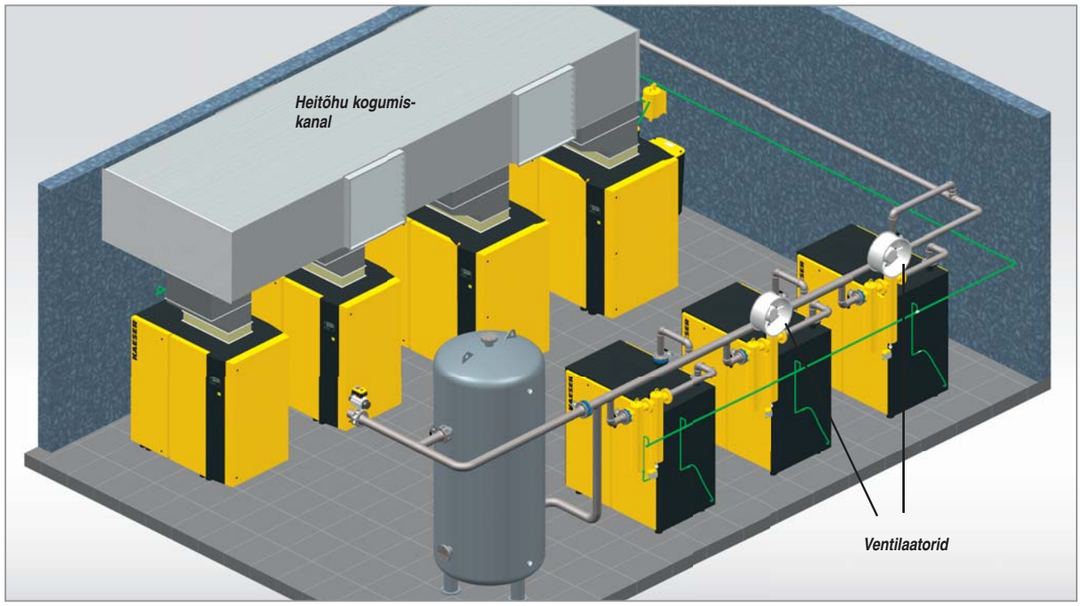
4. Jahutuskuivatist õhu väljajuhtimine
Jahutuskuivatid tekitavad soojust neisse juhitud elektrivõimsusest umbes neli korda rohkem. Seepärast vajavad nad eraldi heitõhusüsteemi termostaadiga juhitud ventilaatoriga **(joonised 1 ja 3)**. Kui jaamas on mitu jahutuskuivatit, peab ventilaatoril olema astmeline juhtimine, mis aktiveerub alates temperatuurist +20 °C. Kuna see heitõhusüsteem ei tööta pidevalt, ei tohi heitõhukanal asetseda otse kuivatil.

5. Heitõhusüsteemide õige paigaldamine ja juhtimine
Kõik heitõhusüsteemid tuleb paigaldada selliselt, et nad ei tekitaks suuremat rõhukadu, kui väiksem masin pakub jääksurve puhul (vaadake tootja andmeid). Vastasel korral voolaks selle seadme heitõhk tagasi tööruumi. Kui jääksurve pole piisav, läheb tarvis lisaventilaatoreid. Klappe tuleb ruumitermostaatide ja kompressorite abil juhtida automaatselt. Klappide tööhäirete kiire tuvastamise ja juhttehnikale edastamise jaoks tuleks kasutada seiret masinaülese juhtimissüsteemiga (nt SIGMA AIR MANAGER).

6. Erijuhtum – vesijahutus
Kuna ka vesijahutusega kompressorid eraldavad umbes 20% paigaldatud võimsusest kiirgussoojusena, tuleb ka sel juhul tagada piisav õhueemaldus.



Joonis 1. Heitõhusüsteem ühe kanaliga iga kompressori kohta



Joonis 3. Heitõhusüsteem kogumiskanaliga kõikide kompressorite jaoks

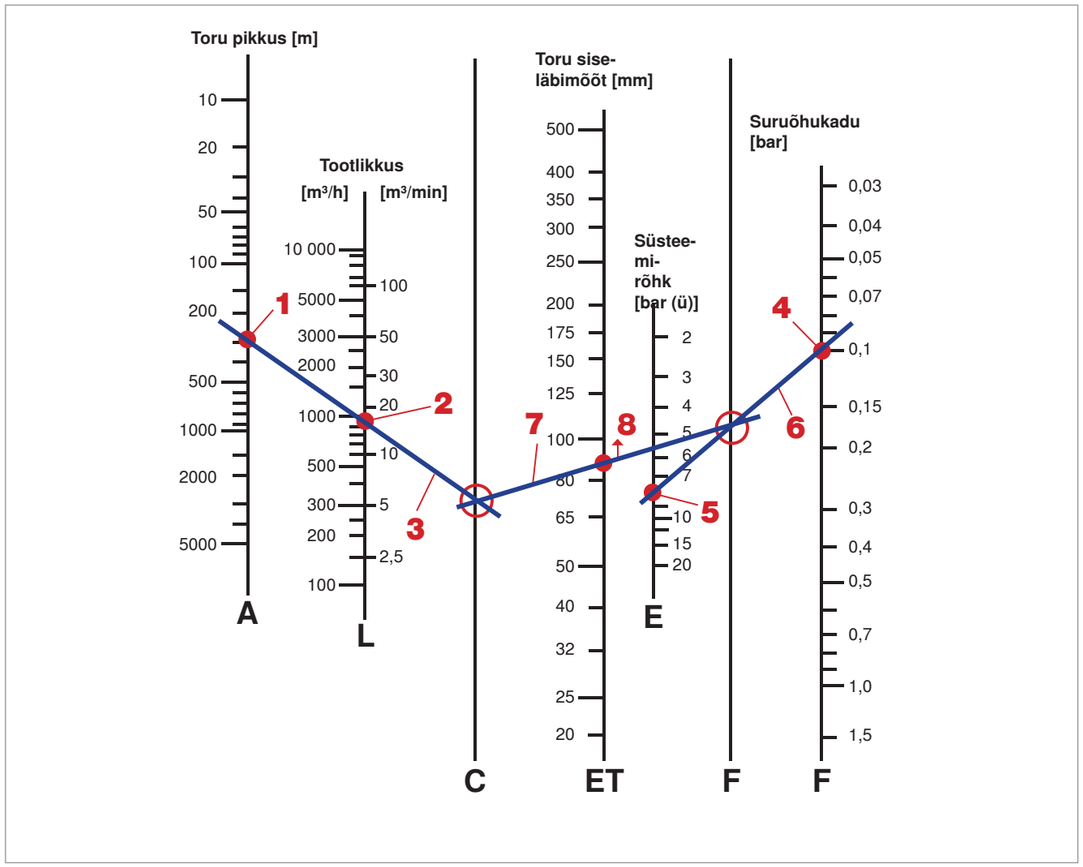
Lisa

Lisa 1–2

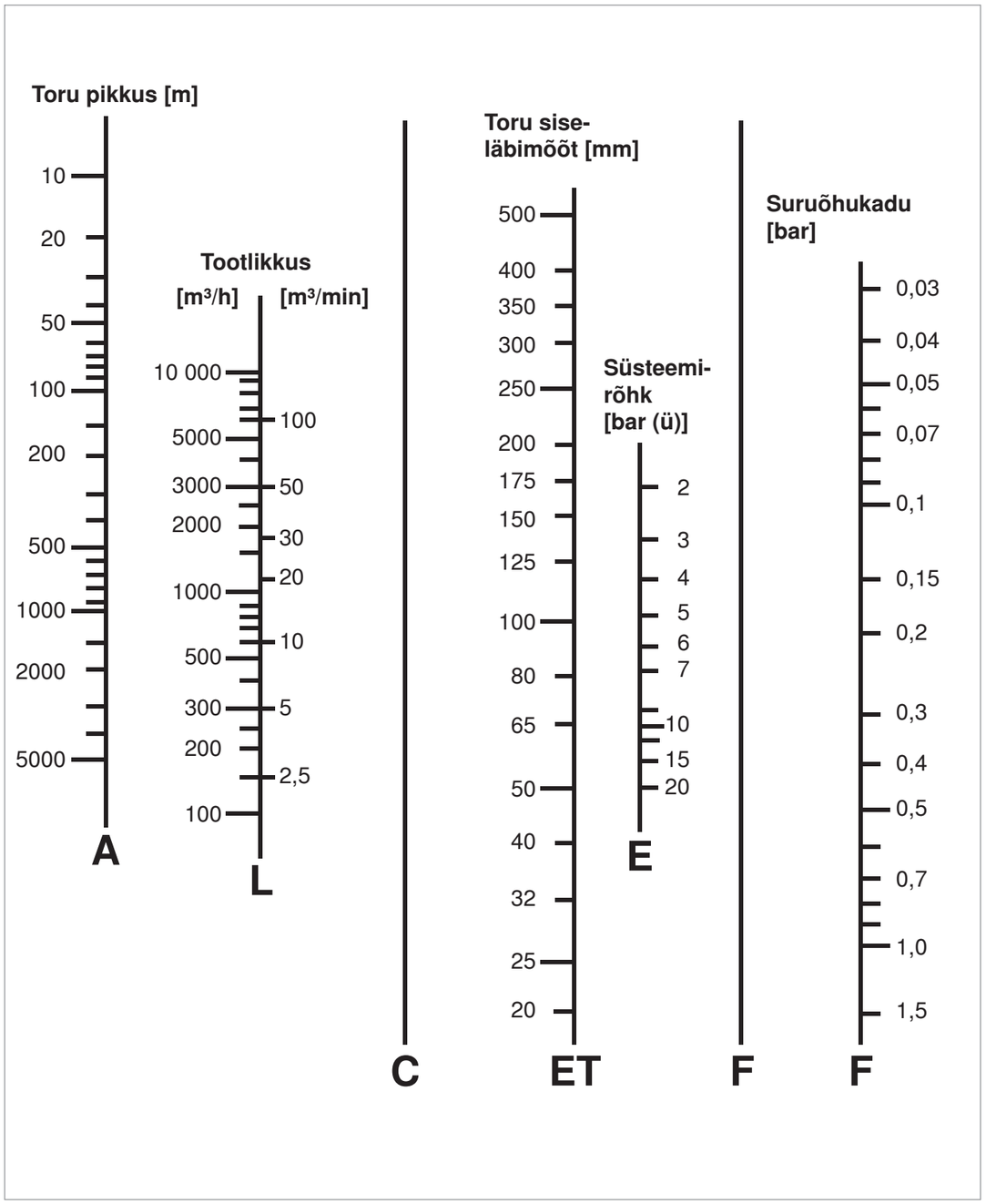
54–57

Lisa 1

Nomogramm toru vajaliku siseläbimõõdu tuvastamiseks



Suruõhutorustiku torude siseläbimõõdu saab selle nomogrammi alusel alljärgnevalt kindlaks teha. Märgistage esmalt toru pikkuse ja tootlikkuse järgi teljed A ja B. Ühendage mõlemad punktid sirgega, mille pikendus lõikub teljega C. Seejärel märgistage telgedel E ja G minimaalne süsteemirõhk ja soovitud maksimaalne rõhukadu. Nende kahe punkti vahel lõikub sirge teljega F. Sirge, mis läbib mõlemat lõikepunkti telgedel C ja F, lõikub teljega D punktis, mille järgi näete vajalikku toru laiust.



Lisa 2

Küsimustiku näited EnergiaSäästuSüsteemi kasutamise jaoks

EnergiaSäästuSüsteemi-teenus

1. Kui suurt tootlikkust vajavad kompressorid?

1.1 Kasutatud tööriistade ja masinate õhukulu

Tööriistad, masinad	Õhukulu tööriista, masina kohta m³/min		Arv: tööriistad, masinad		Koormus %		Üheaegsus-tegur %		Tegelik arvutuslik õhukulu m³/min
		×		×		×		=	
		×		×		×		=	+
		×		×		×		=	+
		×		×		×		=	+
		×		×		×		=	+
		×		×		×		=	+

Kõikide tööriistade õhukulu = $V_{tööriistad}$ m³/min

+

1.2 Muud tarbijad V_{muud} m³/min

+

1.3 Suruõhuvõrgu lekked V_{leke} m³/min

+

1.4 Varu V_{varu} m³/min

min vajalik kompressorite tootlikkus = V_{kokku} m³/min

EnergiaSäästuSüsteemi-teenus

2. Kas mõni kompressor on juba olemas?

☐ **ei**

☐ **jah**

Käitaja tähistus	Tootja	Tüüp	Rõhk bar(ü)	Tootlikkus m³/min	Edasine kasutamine on plaanis? jah	ei
					☐	☐
					☐	☐
					☐	☐
					☐	☐
					☐	☐
					☐	☐

olemasolevate ja kasutussejäävate kompressorite koondtootlikkus

= $V_{olemasolev}$ m³/min

Olemasolevad suruõhu eeltöötlemise komponendid

Tüüp/mudel (kuivati, filter, väljajuhtimisseade jne)	Tootja	Väljatöötatud koormusele m³/min	bar(ü)	Märkused nt valede näitajatega

www.kaeser.com

KAESER KOMPRESSORID

KAESER – kodus kogu maailmas

Ühe suurima kompressoritootjana on firma KAESER KOMPRESSOREN esindatud kogu maailmas: Rohkem kui 100 riigis hoolitsevad filiaalid ja partnerfirmad selle eest, et kõige kaasaegsemad, töökindlamad ja ökonoomsemad suruõhusüsteemid oleks klientidele kättesaadavad.

Kogenud spetsialistid ja insenerid annavad igakülgset nõu ja individuaalseid, energiasäästlikke lahendusi suruõhu kasutamise kõigis valdkondades. KAESERi rahvusvahelise kontserni globaalne arvutivõrk tagab kõigile oma klientidele kogu maailmas juurdepääsu süsteemi tarnija oskusteabele.

Lisaks sellele tagab teine globaalne võrgustik – meie hästiorganiseeritud hooldusorganisatsioon – KAESERi toodete maksimaalse kättesaadavuse kogu maailmas.

KAESER KOMPRESSORID
Kesk tee 23 – Aaviku – Rae vald – 75301 Harjumaa – Eesti
Tel. +372 6064290 – Faks +372 6064297 – E-mail: info.estonia@kaeser.com – www.kaeser.com

P-2010EF Tehniliste muudatuste õigus reserveeritud! 1/16