

Tietoja paineilmajärjestelmän suunnittelijalle.

Lämmön talteenoton suunnittelussa tarvittavia tietoja

TAMROTOR
KOMPRESSORIT OY



Energiakustannukset

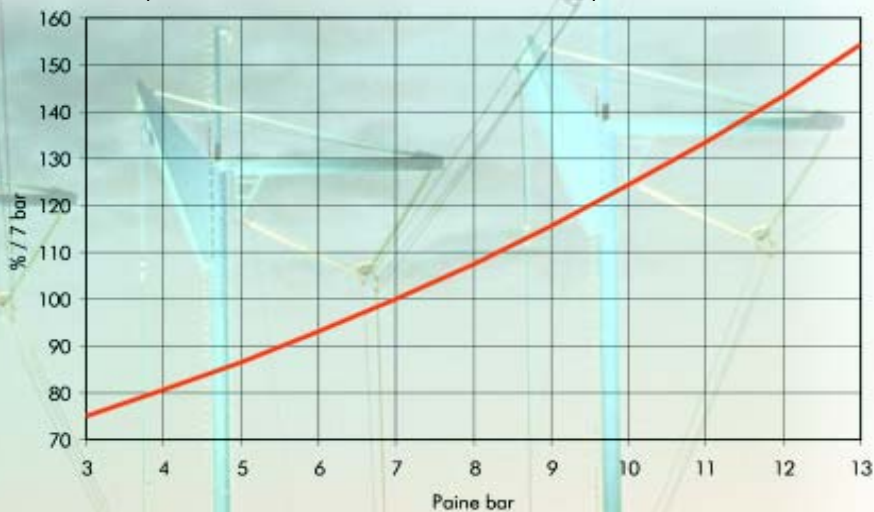
Kompressorien osuus on yli 90 % paineilman kehittämiseen ja käsittelyyn käytettyä energiasta, kuten myös saatavasta lämmöstä. Kompressorin tuottopaineen nousu lisää energian tarvetta 7 – 9 % kutakin paineen nousun bar kohti ja vastavasti paineilman kulutus on suoraan verrannollinen käytettyyn absoluuttiseen paineeseen. Siten oikean käyttöpaineen ja putkistokoon valinnalla voidaan ratkaisevasti vaikuttaa paineilman tuotokustannuksiin. Myös usein toistuvat kuormitus- ja tyhjäkäyntijaksot lisäävät merkittävästi sekä energian kulutusta että huoltokustannuksia. Mitä lähempänä kompressorien tuotto on paineilman kulutusta, sitä alhaisemmat ovat tuotetun paineilman kustannukset. Kuormitus- ja tyhjäkäyntiaikoihin vaikuttavat eniten kompressorien koko ja lukumäärä sekä säiliöiden ja putkistojen koko.

Lämmön hyötykäyttö

Kompressorista on poistettava lämpöä lähes kokonaan sen ottama energiamäärä. Mikäli kompressorien läheisyydessä lämmitettäviä tiloja, voidaan jäähdytysilman lämpöenergiaa käyttää edullisesti hyödyksi lämmityskaudella. Kustannuksina ovat vain ilmanjakokanaviston hankinta- ja asennushinta.

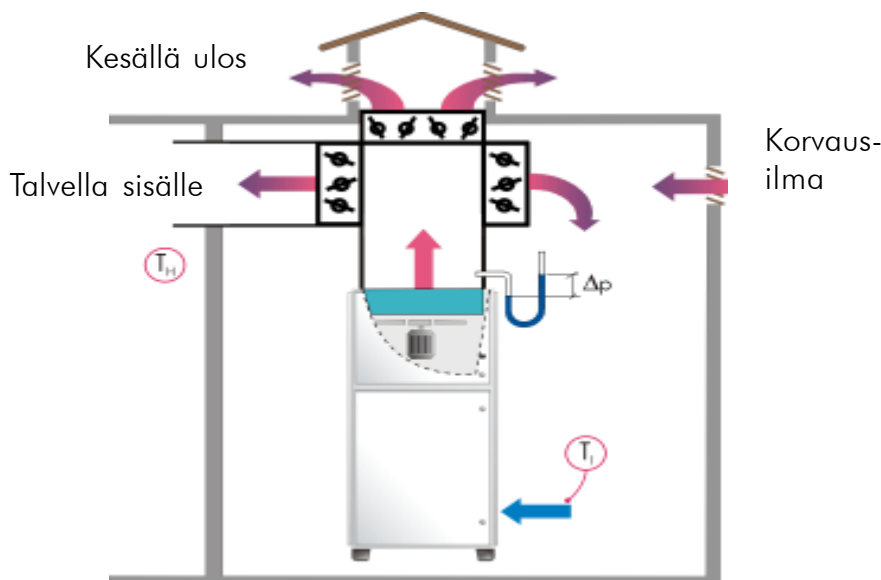
Vesijäähdytteisissä kompressoreissa lämmön talteenoton esteenä pidetään yleensä saatavan veden alhaista, 40...50°C lämpötilaa. Kompressorien jäähdyttimiä suurentamalla voidaan veden lämpötila nostaa +70°C:een ja samalla veden kulutus vähenee (EWA-PRE ratkaisu). +W-ratkaisua hyväksi käyttäen, voidaan ilmajäähdytteisen kompressorin tehosta ottaa tarvittaessa veteen n. 70 %, eikä vettä kulu kuin käytetyn kuuman veden määrä.

Kompressorin suhteellinen tehotarve paineen funktiona



Kompressorista poistuva lämpömäärä:

Lämmön tuottolähde	Ilmajäähdytteinen kompressori	Vesijäähdytteinen kompressori
Öljyjäähdytin %	74	77
Jälkijäähdytin	18	20
Säteilylämpö%	4	3
Paineilmaan jäänyt lämpö %	4	0



Kompressorin tehontarpeeseen vaikuttavia tekijöitä

Paineilmakeskukksen käyttökustannusten merkittävin erä on energiakustannukset. Eri tyyppisten kompressorien ominaisuudet muuttuvat eri tavoin olosuhteiden mukaan.

Todellista tehontarvetta laskettaessa on lisättävä tarvittavaan minimipaineeseen säätöpaine, yleensä noin 1 bar, mikäli kompressoria ohjataan nk. kaksipisteesäädöllä. Imuilman lämpötilan aleneminen lisää kompressorin todellista tuottoa 1%/3°C. Tehontarve lisääntyy tällöin yksivaiheisissa kompressoreissa 1%/15°C ja useampi-vaiheisissa 1%/6°C.

Paineen vaikutus

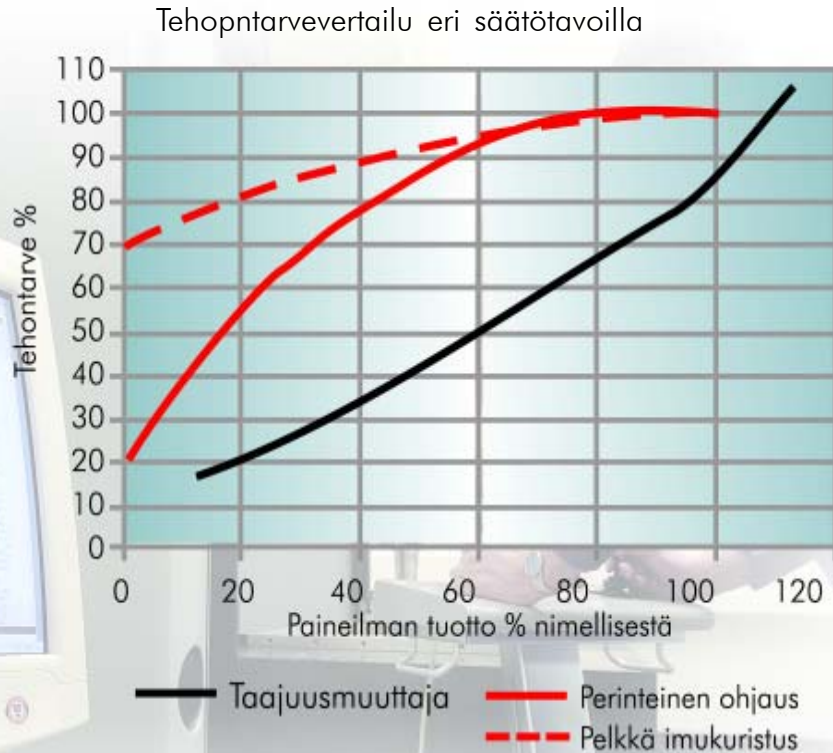
Kompressorin tehontarve laskee 7-9 %, kun painetta alennetaan 1 barilla. Paineilman jälkikäsitteilyyn voidaan laskea tarvittavan 0,5 - 1,4 bar lisäpainetta.

Tyhjäkäyntiteho

Tyhjäkäyntitehontarpeessa on otettava huomioon myös voimansiirron ja moottorin hyötysuhteet. Sähkömoottorien hyötysuhde alenee jyrkästi kuorman vähetessä.

Perinteinen säätötapa "kaksipistehjaus"

Kompressorien tuottoa on perinteisesti säädetty nk. kaksipistehjauksella. Tällöin kompressori on ohjattu kevennykselle, kun saavutetaan asetettu paineen yläraja ja kun paine on taas laskenut alarajalle, on kompressori ohjattu taas tuotolle. Säätölaitteistoon kuuluu toiminto joka pysäyttää kompressorin sähkömoottorin jos kompressori käy tyhjäkäynnillä yli asetetun ajan. Häviöistä johtuen on kompressorin ottoteho kevennyksellä liki puolet täydestä tehontarpeesta, vaikka kompressori ei tällöin tuota paineilmaa. Säätötapa on melko epäedullinen, kun paineilman tarve on lähellä puolta kapasiteetista, varsinkin jos säiliön ja putkiston tilavuus on pieni kompressorin kokoon verrattuna.



Kuristussäätö

Kuristussäädöllä varustettu kompressori käy pysähtymättä. Kompressorin imuventtiili kuristaa imuilman määrää, ja siten rajoittaa kompressorin ilman tuottoa kun säädetty paineen yläraja saavutetaan, ja avaa imuventtiiliä paineen laskettua säädettyyn alarajaan, jolloin kompressorin ilman tuotto kasvaa. Kompressorin imuventtiilinä käytetään läppäventtiiliä joka mahdollistaa lähes portaattoman tuoton säädön, ilman että kompressori ohjataan tyhjäkäynnille. Kuristussäätö on edullinen vaihtoehto, jos kulutus on yli 70 % kompressorin maksimituotosta.

Pysäytyskäyttö

Pysäytyskäyttöisenä kompressori pysähtyy jälkikäynnin jälkeen, kun säädetty verkoston paineen yläraja on saavutettu. Kompressori käynnistyy uudelleen automaattisesti kun paine on laskenut säädetylle alarajalle. Jälkikäynnin säädön avulla varmistetaan sähkömoottorille riittävä jäähdytys.

Taajuusmuuttajaohjaus

Kompressorin säätöjärjestelmän tehtävänä on säätää kompressorin tuotto ilman tarpeen mukaan ja saada tehontarve tuotettua ilmakehiä kohtien mahdollisimman alhaiseksi. Kun kompressori käynnistetään, mikroprosessoriohjaus säätää pyörimisnopeuden tasolle joka pitää kompressorin ilmantuoton kulutusta vastaavana. Kun ilman kulutus laskee alle kompressorin minimituoton ja paine nousee asetellulle ylärajalle, kompressori pysähtyy. Kompressori käynnistyy automaattisesti uudelleen kun paine laskee aseteltuun alarajaan. Taajuusmuuttajaan sisältyvä "pehmökäynnistys" leikkaa tehokkaasti virrankulutus-huiput. Paineilman vekostopaine on aina tasainen ja ylipaineen pumppaamisen aiheuttamalta energian häviöiltä vältytään. Nykyaikaisen taajuusmuuttajan ohjaus- ja valvontajärjestelmän avulla kompressorin tuottoa voidaan rajoittaa ottotehon tai kierrosluvun mukaan. Lisäksi valvontajärjestelmä antaa erinomaiset mahdollisuudet seurata kompressorin käyttöaloutta ja todellisia käyttötunteja.

Käynninohjausautomaatiikka

Nykyinen mikroprosessoriteknologia antaa mahdollisuuden toteuttaa kohtuullisin kustannuksin erittäin monipuolisia ohjaus- ja valvontajärjestelmiä. Kehittynyt ohjausjärjestelmä valitsee automaattisesti yhden tai useamman kompressorin säätötavan senhetkisen paineilmatarpeen mukaan optimoiden energian kulutuksen ja käyttö-kustannukset.

Automaatiikka helpottaa myös huollon suunnittelua ja toteutusta. Kompressoreista saadaan jatkuvasti eri toiminta-arvojen tarkat mittaustiedot ja järjestelmä laskee valmiiksi, miten ne ovat muuttuneet sekä millä aikavälillä todennäköisesti tarvitaan huoltoa. Lisäksi on mahdollista kytkeä automaattinen raportointi yrityksen sisäiseen tai modeemeja ja puhelinverkkoa käyttäen vaikka maailmanlaajuisen keskitettyyn valvontajärjestelmään.

Normaalissa, paineeseen perustuvassa säädössä huomioidaan seuraavat tekijät:

Käyttökohteiden alin sallittu paine (laitteet, käyttötarkoitus).

Alhaisin hyväksyttävä paine paineilma-keskuksen jälkeen. (Lisätään putkiston painehäviöt.)

Kompressorien ohjauspaine-ero, joka on mallista ja säiliökapasiteetista riippuen 0,5 – 1 bar.

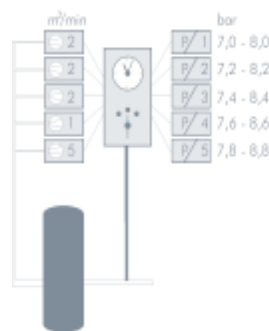
Jos useamman kompressorin ohjaus perustuu porrastettuihin paineisiin, on lisäportaat huomioitava paineen mitoituksessa.- Paineen alentaminen alentaa myös jälkikäsitteilylaitteiden kapasiteettia sekä lisää niiden ja putkistojen painehäviötä kääntäen verrannollisesti absoluuttiseen paineeseen.

Alemmalla paineella laitteiden mekaaninen kuormitus vähenee ja siten käyttövarmuus paranee ja huoltokustannukset alentuvat. Kuitenkin mitä lähempänä alinta toimintapainetta ollaan, sitä vähemmän on käytettävissä säiliökapasiteettia häiriötilanteissa.

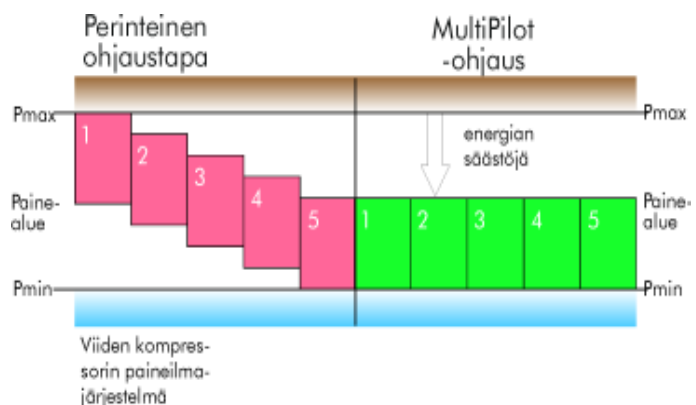
Kuivaimien energian kulutus lisääntyy jyrkästi paineen laskiessa.



Perinteinen ohjaustapa



MultiPilot -ohjaus



Paineilman kulutus

Kompressorien koko olisi valittava niin, että ne pystyvät tuottamaan paineilmaa kulutuksen verran, mutta ei yhtään enempää. Käytännössä tämä on usein vaikeata, etenkin uusissa laiteissa, joissa ei tunneta paineilman tarvetta eikä kulutuksen vaihtelua. Jo toimivissa laiteissa on kulutuksen ja kulutusvaihtelujen määrittäminen melko helppoa seuraamalla kompressorien käyntiaikaa ja ilmanpaineen vaihtelua verkossa.

Kompressorien koon valintaan kannattaa kiinnittää erityistä huomiota, sillä väärin valittu konekoko aiheuttaa turhia kuluja niin hankinnan yhteydessä kuin jatkuvina käyttömenoinakin. Yleensä suurempien kompressorien hankintahinta ja tehontarve tuotettua paineilma-kuutiota kohti on alhaisempi kuin pienempien. Toisaalta taas tehontarve tyhjäkäynnillä on suurilla kompressoreilla suurempi.

Kompressorin kooka valittaessa on pyrittävä löytämään merkittävimmät kulutuskohteet, niiden käyttöaste ja todellinen kuloinnin tarvittava ilmamäärä. On myös pidettävä mielessä, että eri laitteiden ilman kulutus, kulutusjaksojen pituus ja jaksojen väliajat ovat hyvin erilaisia.

Yleensä laitteet, joiden toiminta-aika on pitkä, ratkaisevat kompressorien koon. Yksittäisten lyhyiden kulutusjaksojen aiheuttama huippukulutus voidaan tyydyttää käyttämällä varastosäiliötä ja putkistokapasiteettia.

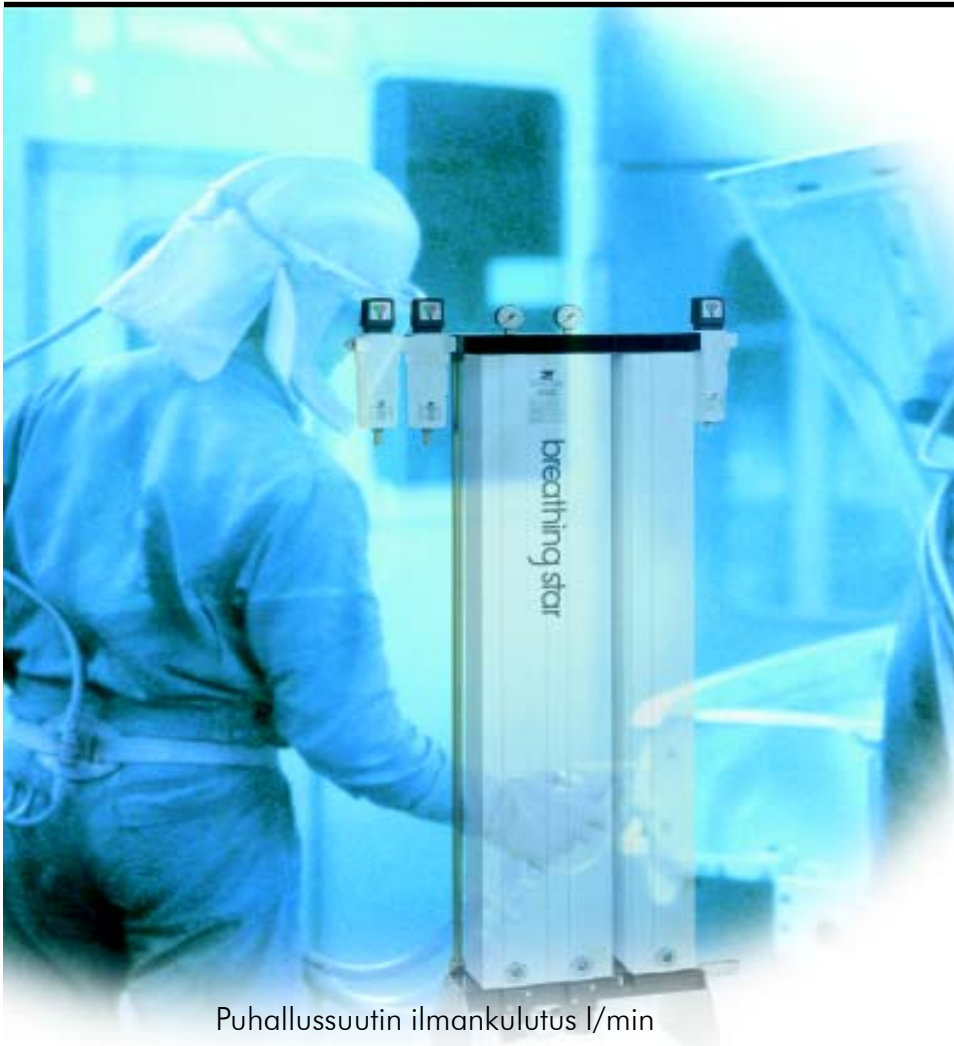
Joissakin laiteissa on pidettävä yllä painetta verkostossa, vaikka kulutus on erittäin pieni, esimerkiksi ilmastoinnin ohjaus- ja säätöilma. Yksinkertaisella automatiikalla ohjattu pieni "paineenpito kompressorit" ja/tai oikein mitoitettua varastosäiliötä alentavat tehokkaasti energian kulutusta ja parantavat tuotantokompressorien käyttöolosuhteita.

Jaksottainen kulutuksen vaihtelu, esimerkiksi tiettyjen tuotantojaksojen merkittävästi suurempi ilman tarve, johtaa useamman kompressorin järjestelmään. Huippukulutuksen aikana on koko kapasiteetti käytössä ja automatiikka valitsee, kuinka monta ja mitkä kompressorit ovat kullakin kulutuksella käytössä.



Eräitä tyypillisiä ilmankulutuskohteita

Koko mm	Paine bar	Ilman kulutus			
		l/min		m ³ /h	
		Liteä	Pyöreä	Liteä	Pyöreä
Maalaukspistoolit:					
Ohuet vesiohente. maalit ja lakat, suutin Ø 0,5 mm	1	45	35	3	2
Ohuet keinohartsilakat suutin Ø 1,5 mm/1,8 mm	2,5 - 3,5	150 - 215	110 - 160	9 - 13	7 - 10
Jäykät keinohartsilakat suutin Ø 2,0 mm	4,5	270	180	16	11
Liimat ja täytemaalit, suutin Ø 3,0 mm	5	320	230	19	14
Puhdistuspistoolit, suutin Ø 1 - 1,5 - 2 mm					
Puhalluspistooli	3	65		4	
Porakone, teräs Ø 4-8 mm	6	300-400		18-24	
Ruuviväännin, iskevä	6	250-500		15-30	
Hiomakone laikkakoko Ø 20 - 100	6	300-1200		18-72	
Tasohiomakone tasokoko 300 x 100	6	250		15	
Niittausvasara, niitti Ø alumiini 3 - 5 teräs 2 - 3	6	150-400			
Niittausvasara, niitti Ø (kuuma 10-19 kylmä 6-8)	6	420-550		25-33	
Talittausvasara	6	100-200		6-12	
Piikkusakone	6	1200-1600		72-95	
Naiittaja	6	30		2	
Naulain	6	350		21	



Laitteet ovat harvoin jatkuvasti toiminnassa, vaan on olemassa työtavalle tai laitetypille ominainen käyttöastekerroin, jolla voidaan määrittää keskimääräinen kulutus-taso.

Laite	Käyttöaste
Porakone	30 %
Hiomakone	40 %
Talttavasara	30 %
Tamppauskone	15 %
Muottikone	20 %
Puhalluspistooli	10 %

Mikäli käytössä on useita laitteita yhtäaikaaisesti, voidaan maksimikulutusta arvioida nk. Yhtäaikaisuuskertoimen avulla, jolloin maksimitarve jää merkittävästi kulutusten yhteissummaa alemmaksi.

Saatuun paineilmatarpeeseen on vielä sisällytettävä lisät. Lisinä ovat varakapasiteetti, laajennusvara tulevia lisäyksiä varten ja varautuminen tuleviin vuotoihin.

Puhallussuutin ilmankulutus l/min

Suuttimen halkaisija mm	Käyttöpaine bar				
	2	4	6	8	10
0,5	8	12	15	20	25
1	30	45	65	85	105
1,5	55	90	125	160	200
2	100	170	240	310	380
3	225	375	520	675	825
4	410	700	980	1250	1500
5	640	1050	1500	1870	2300
6	900	1520	2120	2750	3350
8	1250	2700	3770	4800	5850
10	1950	4230	5900	7500	9200

Laitteiden lukumäärä kpl	Yhtäaikaisuuskerroin
2	0.96
4	0.9
6	0.85
8 tai enemmän	0.8

Hiekkapuhallussuuttimien ilman kulutus l/min

Suuttimen halkaisija mm	Käyttöpaine bar		
	2	4	6
4	330	550	780
6	720	1220	1700
10	1570	3400	4700

Paineilmasynterierien ilmankulutus l/cm männän liikettä

Männän halkaisija mm	Käyttöpaine bar									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	0,0005	0,0008	0,0011	0,0014	0,0016	0,0019	0,0022	0,0025	0,0027	0,003
12	0,002	0,003	0,004	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01	0,011	0,012
16	0,004	0,006	0,008	0,01	0,011	0,014	0,016	0,018	0,02	0,022
25	0,01	0,014	0,019	0,024	0,029	0,033	0,038	0,043	0,048	0,052
35	0,019	0,028	0,038	0,047	0,056	0,066	0,075	0,084	0,093	0,103
40	0,025	0,037	0,049	0,061	0,073	0,085	0,097	0,11	0,122	0,135
50	0,039	0,058	0,077	0,096	0,115	0,134	0,153	0,172	0,191	0,21
70	0,076	0,113	0,15	0,187	0,225	0,262	0,299	0,335	0,374	0,411
100	0,155	0,231	0,307	0,383	0,459	0,535	0,611	0,687	0,763	0,839
140	0,303	0,452	0,601	0,75	0,899	1,048	1,197	1,346	1,495	1,644
200	0,618	0,923	1,227	1,531	1,835	2,139	2,443	2,747	3,052	3,356
250	0,966	1,441	1,916	2,392	2,867	3,342	3,817	4,292	4,768	5,243

Paineilmaverkoston rakenne ja mitoitus

Paineilmaputkiston perusrakenne määräytyy suurelta osin käyttöympäristön ja varmuusvaatimusten perusteella. Mikäli ilma määrät ovat suuria, ja niillä on eri laatuvaatimukset tai painetasot, kannattaa mieluummin rakentaa useimpia rinnakkaisia paineilmaverkostoja, kuin puhdistaa tai tuottaa koko paineilmamäärä korkeimpien vaatimusten mukaiseksi. Lisäksi saattaa osa paineilmasta, esimerkiksi instrumentti- tai toimilaitteille, olla saatavuudeltaan ensisijaista, jolloin erillisillä putkistoilla ja venttiilijärjestelyillä varmistetaan toiminnan turvallisuus häiriötilanteissa.

Paineilmaverkosto jaetaan toiminnan ja sijoituspaikan mukaan paine ilma- aseman putkistoon, runkoputkistoon, jakeluputkistoihin ja liitäntäputkistoihin. Putkistot on mitoitettava niin, että kulutus pisteisiin saadaan riittävän korkea paine myös kulutus huippujen aikana. Hyvänä mitoituksena voidaan pitää alle 0,3 bar painehäviötä paineilmakeskuksen ja kulutuskohteiden välillä.

Paine ilma- aseman putkisto

Paine ilma- aseman putkistolla yhdistetään laitteet, kompressorit, suodattimet, kuivaimet ja säiliöt toimivaksi kokonaisuudeksi. Putkistolla varustetaan laitteet riittävällä huolto-ohituksilla ja värähtelyn vaimentimilla. Lisäksi ensisijaisventtiileillä varmistetaan tärkeimpien kohteiden ilmansaanti.

Ohituslinjojen sijoitus ja rakenne on oltava sellainen, etteivät ne kerää normaalissa käytössä likaa ja nesteitä, jotka ohitus tilanteessa pääsevät paineilmaverkostoon. Pääsääntöisesti linjat pitäisi sijoittaa kulkemaan paineilmalinjan yläpuolella tai linja suuntautuu ylöspäin ohitusventtiilille saakka. Adsorptiokuivainten ohitusventtiilien on oltava höyrytiivitä.

Häiritsevä värinä ja putkistomelu vaimennetaan joustavilla putkilla ja tarvittaessa riittävän suurella säiliöllä, joka on varustettu molemmiin puolin joustavilla yhdysputkilla. Putkistot olisi pyrittävä mitoittamaan siten, ettei painehäviö ylittäisi 0,1 bar.

Runkoputkistot

Paine ilma siirretään runkoputkistoilla paine ilma- asemalta kulutuskeskuksien jakeluputkistoihin. Tavallisesti nämä putkistot ovat lyhyimpiä ja suurikokoisimpia. Painehäviöiden pitäisi näillä osilla olla mahdollisimman alhaisia, 0,01 ... 0,05 bar.

Jakeluputkistot

Jakeluputkistolla johdetaan paine ilma käyttökohteen liitäntäpisteisiin. Painehäviö ei saisi ylittää 0,1 ... 0,5 bar. Mikäli jakeluputkisto voidaan rakentaa renkaaksi, jakautuu liityntäpisteiden huippukulutus renkaan molempiin haaroihin ja siten paineen vaihtelu vaimenee. Rengaslinjan mitoituksessa voidaan käyttää puolta kulutus huipun virtausta. Lisäksi varustamalla renkas jakoventtiileillä, voidaan osa renkaasta sulkea huolto- ja muutostöitä varten pysäyttämättä koko alueen toimintaa. Jakeluputkistojen ääripäät olisi varustettava alapäin lähteillä tyhjennyspisteillä mahdollisesti kerääntyvän lian ja kondens- siveden poistamiseksi.

Painehäviöt

Putkiston painehäviö riippuu paineilman virtausnopeudesta, lämpötilasta ja paineesta, putken mitoista (sisähalkaisija ja pituus) ja pinnan karheudesta sekä virtaustilanteesta. Putkivirtauksen painehäviö saadaan kaavalla:

$$\Delta p = f \times (L/D) \times \frac{\bar{n} w^2}{2}$$

f = dimensioton vastuserroin. Kerroin huomioi virtaustilanteen ja putkiston poikkeamisen ideaalista. Se määräytyy Reynoldin luvun ja suhteellisen karheuden perusteella. Lisäksi painehäviöön vaikuttaa virtaustilanteen muutokset, kuten virtaussuunnan -tai nopeuden vaihtelu.

Kertavastusten vaikutus painehäviöön

Putken osat, haarat, käyrät, supistukset ja venttiilit aiheuttavat kertaluonteisen painehäviön. Kertavastusten huomioiminen putkiston mitoituksessa saadaan parhaiten ilmoittamalla vastuksen vaikutus vastaavankokoisen putken vastaavana pituutena.



Putkiston painehäviöt

Paineilmaputkiston painehäviö voidaan laskea riittävällä tarkkuudella seuraavilla likikaavoilla.

Pienehköille kupari- ja muoviputkille:
 $D_p = 2,9 \times 10^5 \times Q^{1,85} \times L / (D^5 \times p_e)$

Teräsputkille:

$D_p = 8,4 \times 10^4 \times Q^{1,86} \times L / (D^{4,86} \times p_e)$
 joissa D_p = Painehäviö (bar)

Q = Virtausmäärä (m³/min)

L = Putkiston vastaavuuspituus (m)

[kertavastukset on huomioitu]

d = Putken sisähalkaisija (mm)

p_e = Käyttöpaine (bar)

Kaavoilla laskeminen jokainen putkiston osa on melko työlöistä. Yleensä mitoituksessa käytetään laskentaohjelmia, nomogrammeja tai valmiiksi laskettuja taulukoita.

Ruostumattomasta putkesta tehtyjen linjojen valmistuskustannukset ovat n. 1,3-kertaiset verrattuna teräsputkiin. Kuitenkin teräsputkien tarvitsema huolto (määräaikainen maalaus ja puhdistus) tasoittavat kustannukset jo noin viidessä vuodessa.

Putkien mitat

Nimellis-koko DN	Putken ulkohalkaisija mm	Teräsputki		Rst- / Hst-putki	
		Normaali-seinämä mm	Putken sisähalkaisija mm	Normaali-seinämä mm	Putken sisähalkaisija mm
10	17,2	1,8	13,6	1,6	14
15	21,3	2	17,3	1,6	18,1
20	26,9	2,3	22,3	1,6	23,7
25	33,7	2,6	28,5	1,6	30,5
32	42,4	2,6	37,2	1,6	39,2
40	48,3	2,6	43,1	1,6	45,1
50	60,3	2,9	54,5	1,6	57,1
65	76,1	2,9	70,3	1,6	72,9
80	88,9	3,2	82,5	1,6	85,7
100	114,3	3,6	107,1	1,6	111,1
125	139,7	4	131,7	2	135,7
150	168,3	4,5	159,3	2	164,3
200	219,1	6,3	206,5	2	215,1
250	273	6,3	260,4	2	269

Mikäli ei tunneta osan vastusta, voidaan se laskea likikaavalla:

$$L_e = K \times f_i \times d^{1,2}$$

L_e = Vastaavan painehäviön aiheuttama putken pituus m

K = Keroin (0,0246 metrisessä järjestelmässä)

f_i = Laitekohtainen vastuskerroin (esim. putkikaari)

d = Putken (armatuurin) sisähalkaisija, mm

Erillisten osien (putkenliitososat ja armatuurit) vaikutus voidaan ottaa huomioon kokemuseräisillä putken vastavilla pituuksilla. Tämä tapahtuu sijoittamalla osan vastus osaksi putkistoa. Laskelmissa lisätään putkipituuteen osan vastaava pituus. Tätä ajateltua kokonaispituutta, ekvivalenttia pituutta käytetään laskennassa putkipituutena.

Putkimateriaalit

Putken materiaali ja laatu	Absoluuttinen karheus mm
Kupari Vedetty tai puristettu uusi	0,0013 - 0,0015
Muovi uusi	0,001
Teräs Saumaton (kaupallinen laatu), uusi	0,02 - 0,06
Pitkittäishitsattu, uusi	0,07 - 0,10
käytetty	Raakapinta 0,04 - 0,10
käytetty	ruostunut tai hieman hilseillyt 0,1 - 0,2

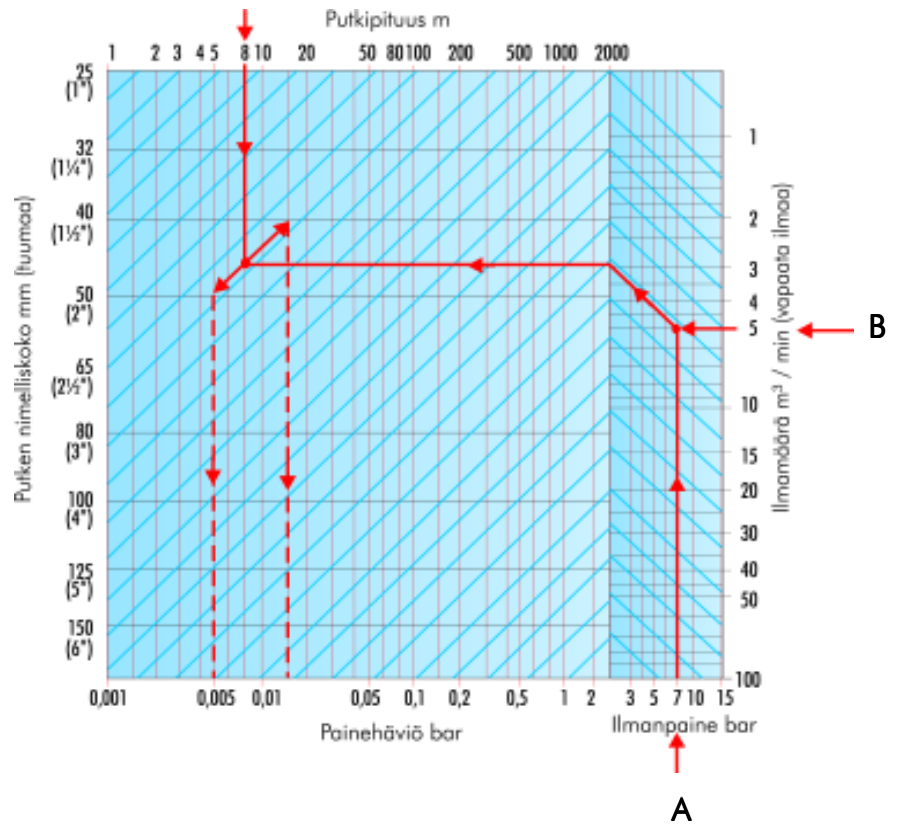
Armatuurien ja putkenosien vastuskertoimet ja vastaavuuspituudet [m].

Putken osat	Putken nimellismitta											
	f_i	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
90° kulma	1,15	1,3	1,7	2,3	2,7	3,6	4,9	5,9	8,1	10,3	12,9	17,8
45° kulma	0,82	0,9	1,2	1,7	2	2,6	3,5	4,2	5,8	7,3	9,2	12,7
90° käyrä	0,245	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,3	1,7	2,2	2,8	3,8
90° kaari	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,6
180° käyrä	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,8	2,2	2,8	3,9
T-haara (haarav.)	1,02	1,1	1,5	2,1	2,4	3,2	4,3	5,2	7,2	9,1	11,4	15,8
T-haara (suorav.)	0,35	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1	1,5	1,8	2,5	3,1	3,9	5,4
Supistus	0,43	0,5	0,6	0,9	1	1,4	1,8	2,2	3	3,8	4,8	6,7
Takaiskuventtiili	1,34	1,5	2	2,7	3,2	4,2	5,7	6,9	9,4	11,9	15	20,8
Kalvoventtiili	1,01	1,1	1,5	2	2,4	3,2	4,3	5,2	7,1	9	11,3	15,7
Palloventtiili	0,11	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,7
Luistiventtiili	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,9	1	1,4	1,8	2,2	3,1
Istukkaventtiili	2,69	3	4	5,4	6,4	8,5	11,4	13,8	18,9	24	30,2	41,7

Putkiston mitoitusnomogrammin käyttö

Putkiston mitoituksessa voidaan käyttää alla olevaa nomogrammia, jonka lähtötietoina ovat siirrettävän paineilman paine ja putkiston avulla siirrettävä ilmamäärä. Putken painehäviön määrittäminen aloitetaan lähtemällä työpaineesta (A), josta vedetään viiva ylöspäin. Siirrettävä ilmamäärä katsotaan taulukon oikeasta reunasta (B) ja muodostetaan paineen ja ilmamäärän leikkauspiste. Viivaa jatketään 45 asteen kulmassa ylös vasemmalle, kunnes saavutaan vaakasuoralle osalle, jota jatketaan ja muodostetaan ylhäältä aiemmin lasketun kokonaisputkenpituuden ja vaakasuoran viivan leikkauspiste. Tästä jatketaan 45 asteen kulmassa valitun putkikoon tasolle. Nomogrammin vasemmalla pystyreunassa on putken halkaisija. Piirretään vaakasuora viiva valitusta putkihalkaisijasta. Aikaisemmin piirretyn alaviistoon kulkevan viivan ja vaakaviivan leikkauskodasta alas piirretty viiva osoittaa putken aiheuttaman painehäviön. Jos painehäviö ylittää sallitun arvon, valitaan seuraava suurempi vakioputken halkaisija, ja tarkistetaan painehäviö uudelleen.

Putkiston mitoitusnomogrammi



Putken vastaavuuspituus, ($\Delta p=0,05$ bar) 6 bar paineella *) **)

Virtaus m ³ /min	Putken nimelliskoko DN										
	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
0,5	73	247	838	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>
1	20	68	231	456	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>
1,5	9	32	109	215	675	>>	>>	>>	>>	>>	>>
2	6	19	64	126	395	>>	>>	>>	>>	>>	>>
2,5	4	12	42	83	261	856	>>	>>	>>	>>	>>
3	3	9	30	59	186	610	>>	>>	>>	>>	>>
4	2	5	18	35	109	357	784	>>	>>	>>	>>
5	1	3	12	23	72	236	518	>>	>>	>>	>>
6	1	2	8	16	51	168	369	>>	>>	>>	>>
8	0	1	5	10	30	98	216	762	>>	>>	>>
10	0	1	3	6	20	65	143	503	>>	>>	>>
12	0	1	2	4	14	46	102	359	948	>>	>>
14	0	1	2	3	11	35	76	269	712	>>	>>
16	0	0	1	3	8	27	59	210	555	>>	>>
18	0	0	1	2	7	22	48	169	446	>>	>>
20	0	0	1	2	5	18	39	139	367	929	>>
25	0	0	1	1	4	12	26	92	242	613	>>
30	0	0	0	1	3	8	18	65	172	437	>>
40	0	0	0	0	2	5	11	38	101	256	948
50	0	0	0	0	1	3	7	25	67	169	626
60	0	0	0	0	1	2	5	18	48	120	446
80	0	0	0	0	0	1	3	11	28	70	261

Putken vastaavuuspituus, ($\Delta p=0,1$ bar) 6 bar paineella *) **)

Virtaus m ³ /min	Putken nimelliskoko DN										
	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200
0,5	145	495	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>
1	40	136	462	912	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>
1,5	19	64	217	429	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>
2	11	38	127	251	791	>>	>>	>>	>>	>>	>>
2,5	7	25	84	166	522	>>	>>	>>	>>	>>	>>
3	5	18	60	118	372	>>	>>	>>	>>	>>	>>
4	3	10	35	69	218	714	>>	>>	>>	>>	>>
5	2	7	23	46	144	472	>>	>>	>>	>>	>>
6	1	5	16	33	102	336	737	>>	>>	>>	>>
8	1	3	10	19	60	197	432	>>	>>	>>	>>
10	1	2	6	13	40	130	285	>>	>>	>>	>>
12	0	1	5	9	28	93	203	717	>>	>>	>>
14	0	1	3	7	21	69	153	539	>>	>>	>>
16	0	1	3	5	17	54	119	420	>>	>>	>>
18	0	1	2	4	13	44	96	337	892	>>	>>
20	0	1	2	3	11	36	79	277	733	>>	>>
25	0	0	1	2	7	24	52	183	484	>>	>>
30	0	0	0	1	2	5	17	37	130	345	874
40	0	0	0	0	1	3	10	22	76	202	512
50	0	0	0	0	1	2	7	14	50	133	338
60	0	0	0	0	0	1	5	10	36	95	241
80	0	0	0	0	0	1	3	6	21	56	141
100	0	0	0	0	0	1	2	4	14	37	93

** Rengaslinjassa käytetään puolta
nimellispuutuksesta ja puolta virtausta.
>> pituus on yli 1000 m

* Mitattu pituus + osien (liitososien ja
armatuuri) vastaavuuspituus =
vastaavuuspituus.

Säiliöt

Tarvittava säiliökoko riippuu käyttö-tarkoituksesta; käytetäänkö säiliötä varastona, vai vain painepulssien vaimentamiseen, kuten voimakkaasti sykkivästi toimivien mäntäkompressorien yhteydessä.

Ruuvikompressoreille säiliö on ensisijaisesti paineilmavarasto, jolloin sillä on kaksi tehtävää. Se tasoittaa paineen vaihtelun mahdollisimman pieneksi kulutuksen vaihdellussa. Toiseksi säiliön koko ja painesuhteet määräävät kompressorin käynnistymis- tai tuotolle ohjautumistiheyden. Nykyaikaisissa täysautomaattisissa kompressoreissa pyritään paine pitämään mahdollisimman alhaisena ja siten myös ohjausdifferenssi mahdollisimman pienenä. Tämä johtaa lyhyisiin kuormitus- ja kevennysaikoihin. Kuitenkin tehontarpeen aleneminen kevennyksellä vie aikaa, ennen kuin on saavutettu täydellinen kevennystila. Mikäli säiliö on pieni ja paineen ohjausdifferenssi kapea, saattaa jollakin kulutuksella kompressorin käydä hyvin lyhyitä kevennys- ja tuottojaksoja ja tehontarve vastaa lähes täyttä kuormitusta.

Säiliöstä hyödynnettävän vapaan ilman määrä lasketaan yhtälöllä:

$$V = V_s \times D_p$$

V = Käytettävissä oleva ilmamäärä (m³ vapaata ilmaa)

V_s = Säiliön tilavuus (m³)

D_p = Sallittu paineen lasku (bar)

Aika, jona säiliötä voidaan käyttää paineilman "tuottajana", saadaan yhtälöstä:

$$T = \frac{V_s \times D_p}{Q}$$

Q = Kompressorien tuoton ylittävä kulutus (m³/min vapaata ilmaa)

t = Tuottoaika (min)

Kompressorin täysautomaattiseen 2-pisteohjaukseen tarvittava tyypillinen säiliötilavuus eri paineen vaihteluilla

Kompressorin tuotto m ³ /min	Sallittu paineen vaihtelu (bar)			
	0.25	0.5	1	2
0.5	0.2 - 0.5	0.1 - 0.3	0.05 - 0.15	0.03 - 0.1
1	0.4 - 1.0	0.2 - 0.5	0.1 - 0.3	0.05 - 0.15
1.5	0.5 - 2	0.3 - 1	0.15 - 0.5	0.1 - 0.25
2	0.75 - 2.0	0.4 - 1.0	0.2 - 0.5	0.1 - 0.3
3	1.0 - 3	0.5 - 1.5	0.3 - 0.75	0.15 - 0.5
4	1.5 - 4	0.75 - 2	0.4 - 1.0	0.2 - 0.5
6	2 - 6	1 - 3	0.5 - 1.5	0.3 - 0.75
8	3 - 8	1.5 - 4	0.75 - 2.0	0.4 - 1.0
10	4 - 10	2 - 5	1 - 3	0.5 - 1.5
15	6 - 15	3 - 8	1.5 - 4	0.75 - 2.0
20	8 - 20	4 - 10	2 - 5	1 - 3
30	10 - 30	5 - 15	3 - 8	1.5 - 4
50	20 - 50	10 - 25	5 - 15	2.5 - 8

Taulukko antaa sopivan säiliön ja putkiston tilavuuden, kun kompressoreja käytetään täysautomaattisella pysäytyskäytöllä. Säiliötä ei tarvita, jos tuottoa säädetään kuristamalla tai tajuusmuuttajalla. Tällöin ilmaa säädetään koko ajan vastaamaan verkoston painetta. Mäntäkompressoreissa ei yleensä voida käyttää kuristussäätöä ja siten on käytettävä säiliötä tasoittamaan hetkellisiä tuoton vaihteluita.

Säiliöstä hyödynnettävä hetkellinen iimamäärä

Säiliön tilavuus m ³	Sallittu paineenlasku bar							
	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	2	2.5
0.2	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5
0.3	0.075	0.15	0.225	0.3	0.375	0.45	0.6	0.75
0.5	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75	1	1.25
1	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	2	2.5
2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4	5
3	0.75	1.5	2.25	3	3.75	4.5	6	7.5
5	1.25	2.5	3.75	5	6.25	7.5	10	12.5
8	2	4	6	8	10	12	16	20
10	2.5	5	7.5	10	12.5	15	20	25
15	3.75	7.5	11.25	15	18.75	22.5	30	37.5
20	5	10	15	20	25	30	40	50

Äkillisten huippukulutusten pisteissä saattaa erillinen säiliö riittää antamaan tarvittavan ylimääräisen hetkellisen tehon.

Putken säiliökapasiteetti

Pituus/m	5	10	15	20	30	40	50	75	100	150	200
Putkikoko DN	Putken tilavuus / l										
15	1.3	2.6	3.9	5.1	7.7	10.3	12.9	19.3	25.7	38.6	51.5
20	2.2	4.4	6.6	8.8	13.2	17.6	22.1	33.1	44.1	66.2	88.2
25	3.7	7.3	11	14.6	21.9	29.2	36.5	54.8	73.1	110	146
32	6	12.1	18.1	24.1	36.2	48.3	60.3	90.5	121	181	241
40	8	16	24	32	47.9	63.9	79.9	120	160	240	320
50	12.8	25.6	38.4	51.2	76.8	102	128	192	256	384	512
65	20.9	41.7	62.6	83.5	125	167	209	313	417	626	835
80	28.8	57.7	86.5	115	173	231	288	433	577	865	1150
100	48.5	96.9	145	194	291	388	485	727	969	1450	1940
125	72.3	145	217	289	434	579	723	1080	1450	2170	2890
150	106	212	318	424	636	848	1060	1590	2120	3180	4240
200	182	363	545	727	1090	1450	182	2730	3630	5450	7270
250	284	568	853	1140	1710	2270	2840	4260	5680	8520	11400

Paineilman suodatus ja kuivauslaitteiden valinta

Kompressorin imuilmassa on aina kosteutta. Puristettaessa ilmaa korkeampaan paineeseen ja jäähdytettäessä saavuttaa paineilma kastepisteen, jonka seurauksena paineilmaasta tiivistyy nestemäistä vettä. Öljyvoldelluista kompressoreista joutuu paineilmaan öljyä. Säiliöistä ja putkistoista irtaa mekaanisia hiukkasia korroosion ja kulumisen seurauksena. Paineilman puhtauden arvioimiseen käytetään muun muassa ISO 8573.1 laatuluokitusta.

Tuotetun paineilman kosteussisältö, (kastepiste) määritetään paineilmaa käyttävien laitteiden tai prosessin vaatimusten mukaisesti. Paineilman kosteussisältöä voidaan joutua rajoittamaan myös käyttöympäristön asettamien vaatimusten johdosta, esim. jos käyttölaitteet on asennettu kylmiin tiloihin ja putkistot kulkevat ulkona. Tuotetun paineilman kastepisteen tulisi olla vähintään 10 °C alempi, kuin alin vallitseva ympäristön lämpötila. Mikäli halutaan välttää korroosion vaikutuksilta, on paineilman suhteellinen kosteus saatava alle 50 %.

Kuivaintyyppien energiankulutus

Jäähdytyskuivaimet

Jäähdytyskuivaimissa on jäähdytyskompressori ja yleensä vastavirtatoiminen lämmönsiirrin. Kastepiste saadaan välille +3...+5°C eli soveltuvaksi sisäpuolisiin putkistoihin. Jäähdytyskuivainten energiankulutus on n. 0,002 ... 0,0028 kWh/m³, mikä merkitsee n. 2 % paineilman tuottamisen energiankulutuksesta.

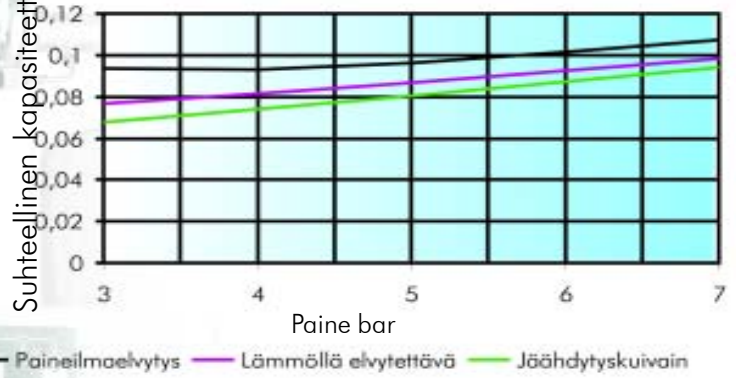
Adsorptiokuivaimet

Adsorptiokuivaimilla saavutetaan -30°C, -75°C kastepiste. Tällä menetelmällä voidaan taata myös ulos sijoitetun verkoston ja kylmissä tiloissa olevien laitteiden häiriötön toiminta. Adsorptiokuivainten energiankulutuksen kannalta oleellista on kuivausaineen elvytystapa.

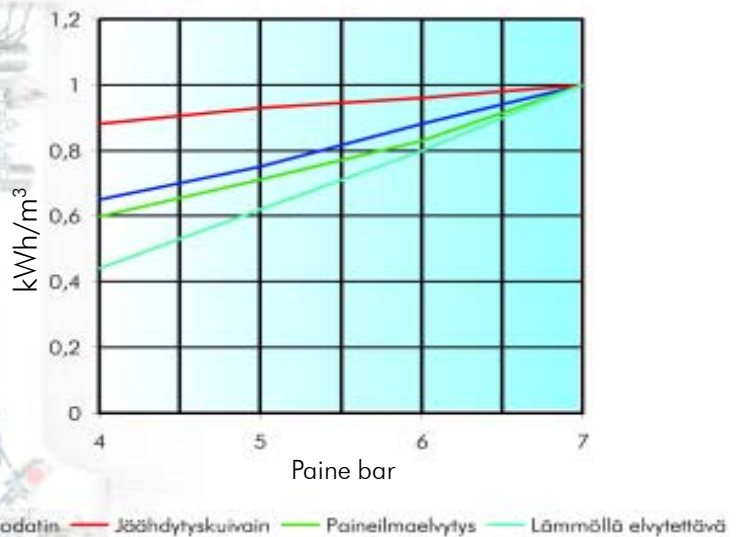
Lämmöllä elvytettävät kuivaimet

Näissä kuivain malleissa kuivausainetta lämmitetään sähkövastuksilla kuumentamalla ilmalla. Lämmitysenergian kulutus on n. 0,003-0,004 kWh/m³.

Kuivatun paineilman ominaistehontarve



Paineen vaikutus jälkikäsitteilylaitteiden virtauskapasiteetteihin



Kastepisteohjaus

Kuivainten tarvitsema elvytysilman määrä on verrannollinen paineilman virtaamaan, käyttöpaineeseen ja syötettävän paineilman lämpötilaan. Paineilmajärjestelmät ovat harvoin stabiileita, jossa ilman virtaus, lämpötila ja paine on muuttumaton. Tuotetun paineilman lämpötila muuttuu vuodenaikojen vaihdella. Kaikki muuttujat voivat muuttua useita kertoja päivässä. Tämän johdosta kiinteä elvytysilman määrän säätötapa kuluttaa paineilmaa aina enemmän kuin olisi todella tarpeen.

Kastepisteohjaus laitteisto mittaa ulos tulevan paineilman kastepistettä ja säätää kuivaimen kuivausjaksoja vallitsevan kuorituksen mukaan. Tällä menetelmällä saavutetaan huomattavaa säästöä kaikkien kuivaintyyppien elvytysilman ja elvytykseen käytettävän sähköenergian kulutuksessa.

Vanhemman mallisten kuivainten paineilman kulutus 0,03-0,07 m³/min, mikä merkitsee kokonaiskulutusta 0,006...0,011 kWh/m³ (kastepiste -30°C) eli n. 6-12 %. Nykyaikaiset alipainessa elvytettävät kuivaimet eivät kuluta lainkaan paineilmaa.

Paineilmalla elvytettävät kuivaimet

Kuivausaineen elvytys tapahtuu kuivatun paineilman avulla. Lisälämmittimiä ei tarvita ja laitteista on yksinkertainen, mutta tarvittava ilmankulutus on n.15 % mitoitustehosta, mikä nostaa energiankulutuksen arvoon n. 0,013...0,015 kWh/m³. Jatkuvan ilmankulutuksen takia koko kompressorilaitos on vastaavasti ylimitoitettava. Kuivaimen ilmankulutus on jatkuvaa eikä elvytysilman määrä säädä paineilman kulutuksen mukaisesti.

Suodattimet

Tuotetun paineilman mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet, kuten ruoste, vesi ja kompressorin öljy voivat yhdessä muodostaa erittäin kuluttavia yhdisteitä. Valmiin tuotteen kanssa kosketuksiin joutuvalle ilmalle, instrumentti-ilmalle, hengitysilmalle tai muuta puhdasta ilmaa tarvitseviin kohteisiin on aiheellista asentaa mikro-suodattimet.

Steriilisuodattimet

Steriilisuodattimet on kehitetty poistamaan paineilma- ja mikro-organismeja, kuten sienä, bakteereita, viruksia ja bakteeri-rifaageja. Yleisimmät esiintyvät bakteerit ovat kooltaan $0,2 - 4\mu\text{m} = 0,0002 - 0,004\text{ mm}$. Virukset ovat läpimitaltaan pienempiä kuin $0,3\mu\text{m} = 0,0003\text{ mm}$. Bakteerifaagit voivat olla niinkin pieniä kuin $0,01\mu\text{m}$.

Yleisimmät käytettäviä suodatinkarkeuksia

Karkeasuodatus

- Suodatusteho 99,99% $3\mu\text{m}$

Esi ja jälkisuodatus, pölysuodatus

- Suodatusteho 99,99% $< 1\mu\text{m}$
- Öljyjäämä $0,5\text{ mg/m}^3$

Hienosuodatus ja öljynerotus

Suuritehoiseen öljynerotukseen ja hienosuodattamiseen. Vaativiin käyttökohteisiin kun paineilmalta vaaditaan suurta puhtausastetta.

- Suodatusteho 99,9999% $< 0,01\mu\text{m}$.
- Öljyjäämä $0,01\text{ mg/m}^3$

Aktiivihiilisuodatin/hienosuodatin yhdistelmä

Yhdistelmä voidaan saada teknisesti öljyttöntä paineilmaa, joka täyttää hengitysilmalle asetetut BS 4275 ja DIN 3188 vaatimukset öljypitoisuuden suhteen, ellei suodatettavan paineilman CO tai CO₂ määrä ylitä.

- Öljyn jäännöspitoisuus $0,005\text{ mg/m}^3$

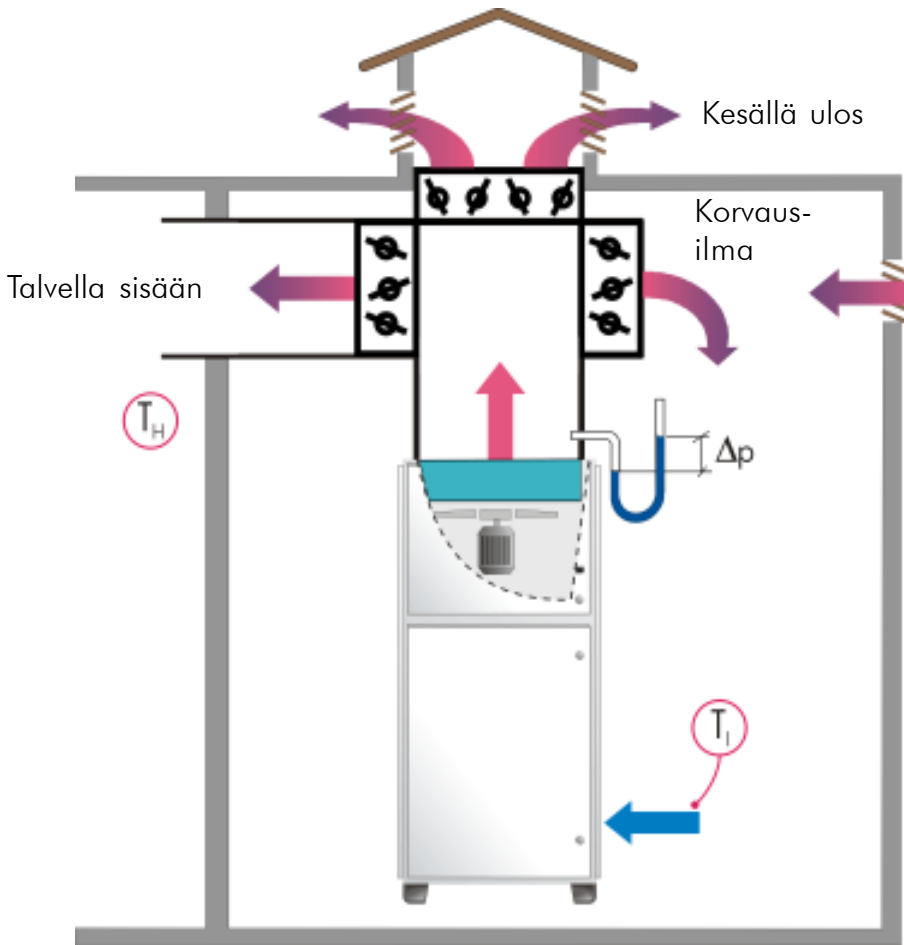
Paineilman öljyjäämät ei suodatusvaiheiden jälkeen

Ilman tuotto m^3/min	Kokonais- öljypäästä $3\text{mg}/\text{m}^3$ kg/v	Jälki- jäähdytin $2\text{mg}/\text{m}^3$ kg/v	Esi-suodatin Z $0,1\text{mg}/\text{m}^3$ kg/v	Öljynerotin X $0,01\text{mg}/\text{m}^3$ kg/v	Kondenssi- veden mukana viemäriin kg/v
	Verkastoon	Verkastoon	Verkastoon	Verkastoon	Viemäriin
1	1,44	0,96	0,05	0,0048	1,44
2	2,88	1,92	0,1	0,0096	2,87
3	4,32	2,88	0,14	0,01	4,31
4	5,76	3,84	0,19	0,02	5,74
5	7,2	4,8	0,24	0,02	7,18
6	8,64	5,76	0,29	0,03	8,61
7	10,08	6,72	0,34	0,03	10,05
8	11,52	7,68	0,38	0,04	11,48
9	12,96	8,64	0,43	0,04	12,92
10	14,4	9,6	0,48	0,05	14,35
11	15,84	10,56	0,53	0,05	15,79
12	17,28	11,52	0,58	0,06	17,22
14	20,16	13,44	0,67	0,07	20,09
16	23,04	15,36	0,77	0,08	22,96
18	25,92	17,28	0,86	0,09	25,83
20	28,8	19,2	0,96	0,1	28,7
22	31,68	21,12	1,06	0,11	31,57
24	34,56	23,04	1,15	0,12	34,44
26	37,44	24,96	1,25	0,12	37,32
28	40,32	26,88	1,34	0,13	40,19
30	43,2	28,8	1,44	0,14	43,06
35	50,4	33,6	1,68	0,17	50,23
40	57,6	38,4	1,92	0,19	57,41
45	64,8	43,2	2,16	0,22	64,58
50	72	48	2,4	0,24	71,76
55	79,2	52,8	2,64	0,26	78,94
60	86,4	57,6	2,88	0,29	86,11
65	93,6	62,4	3,12	0,31	93,29
70	100,8	67,2	3,36	0,34	100,46
75	108	72	3,6	0,36	107,64

Kastepisteen ohjearvoja eri käyttökohteille

Käyttökohde	Tarvittava kastepiste
Tehdasilma, sisällä	+5°C...-10°C
Maaliruiskut	+10°C...-25°C
Instrumentti-ilma	+5°C...-40°C
Ilmamootorit	+10°C...-40°C
Hiekkapuhallus	+5°C... 0°C
Paineilmatyökälyt	+5°C...-25°C
Pakkaukoneet	+5°C...-25°C
Muovien ruiskutuslaitteet	+5°C...-40°C
Pneumaattinen kuljetus	+5°C...-60°C
Pulverimaalaus	+5°C...-60°C
Optisten laitteiden puhdistus	-17°C...-33°C
Suojakaasut	-18°C...-100°C
Paineistettujen kaapeleiden valmistus	-20°C...-40°C
Elektronisten komponenttien kuivaaminen	-20°C...-40°C
Tehdasilma, ulkona	-20°C...-40°C
Kemiallinen ja lääketieteellinen teollisuus	-25°C...-40°C
Tuultunnarit	-40°C...-65°C
Puolijohteiden valmistus	-40°C...-70°C
Superkuivan elektronikan valmistus	-40°C...-100°C
Infrapuna spektrografia	-50°C...-65°C
Avaruustutkimus	-65°C...-100°C
Atomivoimalaitosten kuivat tilat	-65°C...-100°C
Kaasujen nesteytysprosessit	-70°C...-80°C

Tyypillinen ja yksinkertainen lämmöntalteenottoratkaisu.



Jäähdytysilman lämpötilan nousu Δt voidaan laskea kaavalla:

$$\Delta t = \frac{P}{C \times V} \quad 0,8 \times \frac{P}{V}$$

Ulkoa otetun jäähdytysilman lämpötila nostetaan sopivaksi sekoittamalla siihen lämmitettyä ilmaa. Lämmitykseen saatava ilmamäärä ja sen lämpötila saadaan kaavoista:

$$t_L = t_s + \Delta t$$

Δt (°C) = Lämpötilan nousu

P (kW) = Jäähdytysilmaan siirtynyt lämpöteho

C (kJ/m³°C) = Ilman ominaislämpö (1,25 kJ/m³°C)

V (m³/s) = Jäähdytysilman määrä

V_L (m³/s) = Lämmitykseen saatava ilmamäärä

t_s (°C) = Sekoitettujen ilman lämpötila

t_n (°C) = Ulkoilman lämpötila

Paineilmakeskuksen lämmön talteenotto

Teollisuuden käyttämästä sähköenergiasta kuluu n. 5 % paineilman tekemiseen. Tästä suurin osa vapautuu paineilman keskuksessa lämpöenergiana, joka oikealla suunnittelulla ja toteutuksella voidaan käyttää tehdastilojen tai veden lämmitykseen.

Kompressoriasemia suunniteltaessa on tärkeää muistaa, että lähes kaikki käytetty energia vapautuu lämmöksi, joka on käytettävissä hyödyksi pienillä kustannuksilla, mutta joka on myös huomioitava ilmanvaihdon mitoituksessa. Ilmanvaihdon suunnittelussa on pyrittävä mahdollisimman viileään lopputulokseen, ei kuitenkaan 0°C alapuolelle. Kuuma jäähdytysilma aiheuttaa tuotettujen paineilman lämpötilan kohoamisen, jonka seurauksena Öljynerotimien öljypäästöt lisääntyvät ja paineilman kuivaimet ylikuormittuvat. Ilmanvaihdon mitoituksessa on kompressorien lisäksi huomioitava jäähdytyskuivaimien (6-10 % kompressoritehosta) ja adsorptiokuivaimien (0-3 %) lämmittävä vaikutus

Tärkeitä perusasioita

1. Estä konehuoneen jäätyminen talvikaikoina. (+1°C min)
2. Kompressorin antaa täyden lämpötehon vain käydessään tuotolla.
3. Kompressorin tuottama lämpöteho vähenee osakuormalla
4. Huomioi kanavien läpiviennissä palomääräykset
5. Kompressorin käyntilämpötila on oltava 80-85 °C
6. Kompressorin jäähdytysilman lämpötila on oltava 1+..+25°C
7. Kompressorin tuottama kuuma paineilma lisää kuivaukskustannuksia
8. Jäähdytysilman otto talvella rakennuksen sisältä
9. Jäähdytysilman otto kesällä ulkoseinältä
10. Mitoita korvausilman tuloaukot ja kanavat riittävän suureksi
11. Kompressorihuone ei saa olla alipaineinen
12. Liitä kanava kompressorin siten että öljynjäähdytin voidaan helposti puhdistaa (huoltoluukku).

Lämmön talteenotolla saatava hyöty:

$$K = 0,072 \times k_1 \times P \times T_k \times T_L$$

tai

$$K = 0,3 \times k_2 \times P \times T_k \times T_L$$

K (mk/a) = Lämmöstä saatava hyöty

k_1 (mk/Mcal) = Lämpöenergian hinta

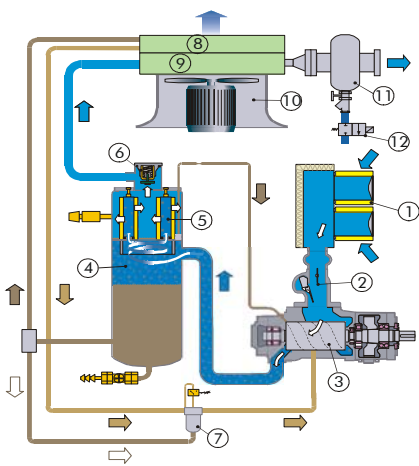
k_2 (mk/MJ) = Lämpöenergian hinta

P (kW) = Saatava lämpöteho

T_k (h/a) = Vuotuinen käyttöaika

T_L (kk/a) = Vuotuinen lämmitys aika





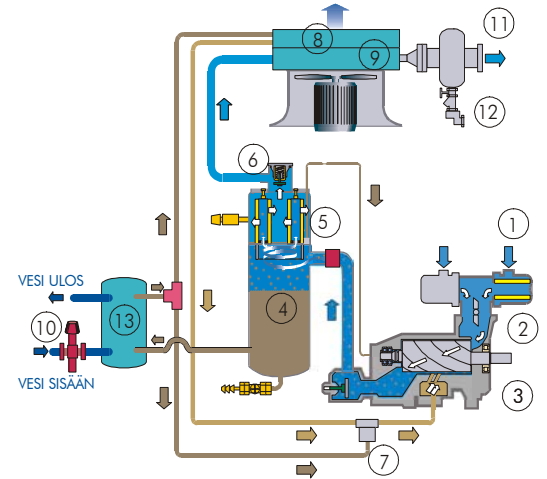
EAA/EANA ilmajäähdytys

Vakiorakenteinen kompressori, jossa sekä öljyn jäähdytin että jälkijäähdytin ovat ilmajäähdytteisiä. Kompressorista poistuvan jäähdytysilman lämpötilan nousu on n. 20 °C. Kompressorin sisäinen automatiikka säätää oikean käyntilämpötilan. Joustavat liitäntämahdollisuudet helpottavat lämmön hyväksikäyttöä, Pitkille siirtomatkoille tarvitaan erillinen kanavapuhallin.

Vakiomallit EANA

Malli No	Jäähdytysilman määrä m ³ /s	Sallittu vastapaine Pa	Lämpöteho max kW
ES5	0,6	30	6,15
ES7	0,6	30	8,35
VS10	0,6	30	7,0
ES11	0,8	30	12,08
ES15	0,8	30	16,42
ES18	0,8	30	20,41
VS20			
ES18	0,8	30	20,52
ES22	1,5	60	23,37
ES30	1,8	60	33
ES37	1,8	60	40,7
VS40	1,8	60	43,3
ES45	1,5	30	45
ES55	1,5	30	54,5
VS60	1,5	50	54,0
ES75	3	50	73
ESD75	3,3	50	80,3
VS80	3,1	50	70,0
ESD90	3,3	50	95,7
ESD110	4,5	50	117,72
VS130	4,5	50	130,14
ESD132	5	50	140,4
VS155	5,7	50	139,0
ESD160	5,7	50	155,52
ESM160	5,7	50	158,76
ESD200	7,5	100	198,72
ESM200	6,5	50	195,48
ESD250-10	7,5	100	228,96
ESG250	9	50	258,12
ESD315-13	15	50	259,2
ESG315	15	70	297

1. Imusuodatin
2. Imuventtiili
3. Ruuviyksikkö
4. Öljysäiliö/keskipakoiserotin
5. Ölynerotinelementti
6. Minipaine/suuntaventtiili
7. Öljysuodatin
8. Öljynjäähdytin
9. Jälkijäähdytin
10. Termostaattiventtiili
11. Paineilman ulostulo
12. Kondenssiveden poistin
13. +W Ilmajähd. öljynjäähdytin



+W ilmajäähdytys + vesijäähdytys

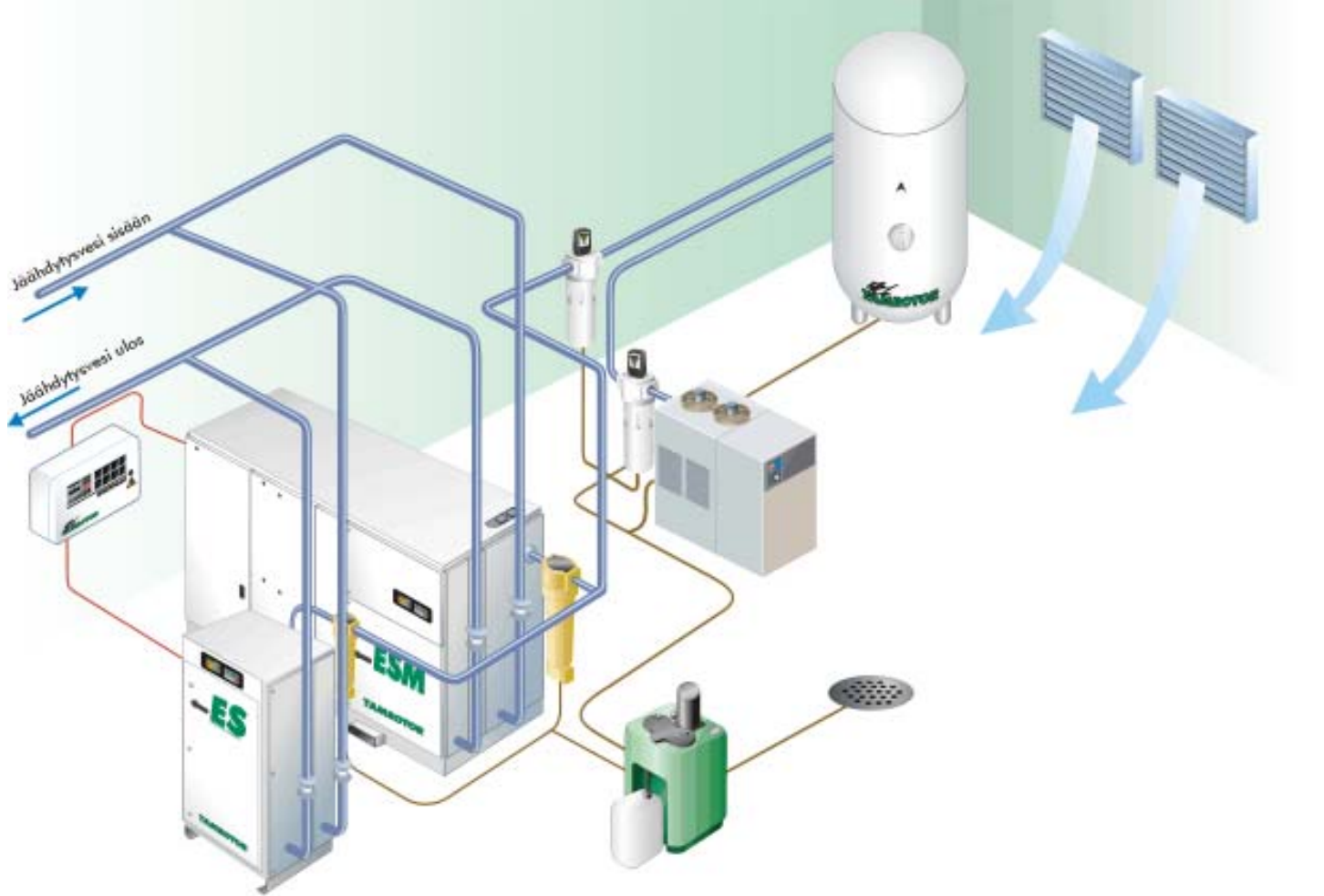
+W-järjestelmässä ovat öljyn jäähdytin ja jälkijäähdytin ilmajäähdytteisiä ja öljyn jäähdytyspiiriin on kytketty ylimääräinen vesijäähdytteinen lämmönvaihdin. Öljynjäähdytinpiiristä saadaan jopa 75 °C vettä. Jäähdytysveden lämpötila saa olla 50 °C ja lämpöä voidaan ottaa haluttu määrä, lopullinen jäähdytys tapahtuu ilmalla.

Kaksi jäähdytysjärjestelmää antaa kaikissa tilanteissa erinomaisen käyttövarmuuden. riötilanteet paineilman tuotolle tai laadulle. +W -järjestelmä sallii lämmön talteenoton vaihtoehtoisesti käyttövedeen tai jäähdytysilmaan. Käyttöveden lämpötilan noustessa säädettyyn arvoon, kompressori siirtyy automaattisesti ilmajäähdytteiseksi.

+W-mallit. Jäähdytysilma -ja vesitiedot.

Tulovesi 50°C poistuva vesi 70°C

Malli No	Öljyn-jäähdytin kW	Jälki-jäähdytin kW	Kompressorin öljynjäähdytin Vesimäärä 20/70 °C l/s	Jäähdytys-ilma määrä m ³ /s	Vastapaine max Pa
ESS11	8,9	1,7	0,04	0,8	30
ES15	12	2,4	0,06	0,8	30
ESS18	15	2,9	0,07	0,8	30
ES18	15	3	0,07	0,8	30
ES22	17	3,5	0,08	1,5	60
ES30	25	5	0,12	1,8	60
ES37	31	6	0,15	1,8	60
VS40	35	6,5	0,17	1,8	60
ES45	37	8	0,18	2,8	30
ES55	45	9,5	0,21	2,8	30
VS60	44	10	0,21	3,1	50
ES75	61	12	0,29	3,1	50
ESD75	58	15	0,28	3,3	50
VS80	56	12	0,27	3,1	50
ESD90	70	17	0,33	3,3	50
ESD110	87	22	0,42	4,5	50
VS130	97,5	23	0,47	4,5	50
ESD132	105	25	0,5	5	50
VS155	113	26	0,54	5,7	50
ESD160	118	26	0,56	5,7	50
ESM160	119	28	0,57	5,7	50
ESD200	147	37	0,7	7,5	100
ESM200	148	33	0,71	6,5	50
ESD250-10	177	35	0,85	7,5	100
ESG250	182	57	0,87	9	50
ESD315-13	203	37	0,97	15	50
ESG315	222	53	1,06	15	70



Vesijäähdytteinen paineilmakeskus

Paineilmakeskuksen lämpötila on pidettävä yli 0°C, ja joka tapauksessa alle 40°C. Ilmanvaihdon mitoituksessa on huomioitava että myös vesijäähdytteiset laitteet lämmittävät ympäristöään. Ilmanvaihdon toteutuksessa on huomioitava että vesiputket ja lämmönvaihtimet eivät pääse jäätymään laitteiston ollessa pysäytettyinä.

Vesijäähdytysjärjestelmän mitoituksessa on huomioitava jäähdytysveden lämpötilan vaihtelu vuodenaikojen mukaan, sekä jäähdytysveden lämpötilan-vaihteluiden aiheuttamat kuormitustekijät paineilman suodatus ja kuivauslaitteistolle. Suljetuissa järjestelmissä on huomioitava jäätymisenestonesten lämmönsiirtokykyä alentava vaikutus (glykoli). Suljetut järjestelmät on syytä varustaa kahdenneuvilla kierrätyspumpuilla tai suoralla varajäähdytysmahdollisuudella riittävän luotettavuuden saavuttamiseksi.

Vesijäähdytteisistä kompressoreista saadaan vakiolaitteistolla n. 40... 50°C vettä, syötettävän jäähdytysveden ollessa +5°C-+25°C. Vakiomallisia kompressoreita käytettäessä on syytä pyrkiä mahdollisimman kylmän jäähdytysveden käyttöön paineilman tehokkaan jälkijäähdytyksen varmistamiseksi. Kompressorista poistuvan paineilman lämpötila on n 10-15°C korkeampi kuin syötettävän jäähdytysveden lämpötila.

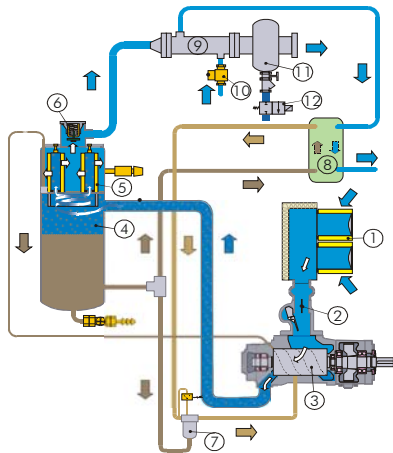
Vesi-glykooliseoksen ominaisuuksia jäähdytysväliaineena

Etyleeniglykoolia käytetään jäätymisen estoon suljetuissa jäähdytyspiireissä. Tarvitava glykoolin osuus seoksessa määräytyy alimman lämpötilan mukaan. Jäähdytysjärjestelmää mitoittaessa on otettava huomioon seoksen heikentynyt lämmönsiirtokyky veteen verrattuna. Samoin pumppujen ja putkistojen mitoituksessa on huomioitava glykooliseoksen suurempi virtaushäviö ja lämpölaajenema.

Etyleeniglykoolin teknisiä ominaisuuksia

Glykolia Vol. %	Jäätymisraja °C	Lämmön siirtokyky kerroin/vesi	Painehäviön kerroin/vesi	Lämpölaajenemis % 20 °C	Lämpölaajenemis % 40 °C	Lämpölaajenemis % 60 °C
0	0	1.000	1.00	0.7	1.40	2.10
10	-4	0.953	1.06	0.76	1.52	2.28
20	-10	0.905	1.14	0.82	1.64	2.46
30	-16	0.850	1.22	0.88	1.76	2.64
40	-25	0.780	1.3	0.94	1.88	2.82
50	-36	0.700	1.38	1.00	2.00	3.00

EWA-PRE



1. Imusuodatin
2. Imuventtiili
3. Ruuviyksikkö
4. Öljysäiliö/keskipakoiserotin
5. Ölynerotinelementti
6. Minipaine/suuntaventtiili
7. Öljysuodatin
8. Öljynjäähdytin
9. Jälkijäähdytin ja vedenerotin
10. Termostaattiventtiili
11. Paineilman ulostulo
12. Kondenssiveden poistin

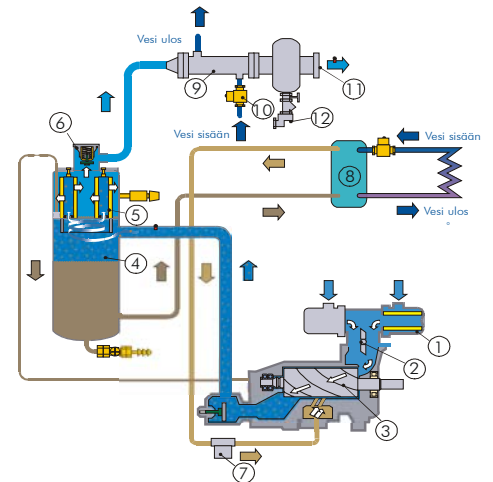
EWA vesijäähdytys

Vakiorakenteinen kompressor, jossa sekä öljyn jäähdytin että jälkijäähdytin ovat vesijäähdytteisiä, Kompressorista poistuvan jäähdytysveden lämpötilan nousu on n. 30 °C. Kompressorin sisäinen automatiikka säätää oikean käyntilämpötilan. Jäähdytysveden tarvittava paine-ero on n. 1,5 bar. Lämmönvaihtimia on saatavissa erikoistilauksesta eri rakenne- ja materiaaleista valmistettuina. Lämmönvaihtimet voidaan mitoittaa myös tapauskohtaisesti halutun lopputuloksen aikaansaamiseksi.

PRE vesijäähdytys

PRE-järjestelmässä sekä öljyn jäähdytin että jälkijäähdytin ovat vesijäähdytteisiä, sarjaan kytkettyjä lämmönvaihtimia.. Kompressorista poistuvan jäähdytysveden lämpötilan nousu on n. 50 °C. Kompressorin sisäinen automatiikka säätää oikean käyntilämpötilan. Jäähdytysveden tarvittava paine-ero on n. 1,5 bar.

EWA-DIR



DIR vesijäähdytys

DIR-järjestelmässä ovat öljyn jäähdytin ja jälkijäähdytin vesijäähdytteisiä, eri jäähdytyspiireihin kytkettyjä lämmönvaihtimia.. Öljynjäähdytinpiirissä käytettävän jäähdytysveden lämpötila saa olla jopa 50 °C. Kompressorin sisäinen automatiikka säätää oikean käyntilämpötilan. Jälkijäähdyttimelle on käytettävä mahdollisimman kylmää vettä. Jäähdytysveden tarvittava paine-ero on n. 1,5 bar.

EWA-mallit. Tulovesi 20°C poistuva vesi 50°C

Malli No	Öljynjäähdytin kW	Jälkijäähdytin kW	20/50 °C l/s
ESS11	8,9	1,7	0,08
ES15	12	2,4	0,11
ESS18	15	2,9	0,14
ES18	15	3	0,14
ES22	17	3,5	0,16
ES30	25	5	0,24
ES37	31	6	0,29
VS40	35	6,5	0,33
ES45	37	8	0,36
ES55	45	9,5	0,43
VS60	44	10	0,43
ES75	61	12	0,58
ESD75	58	15	0,58
VS80	56	12	0,54
ESD90	70	17	0,69
ESD110	87	22	0,87
VS130	97,5	23	0,96
ESD132	105	25	1,03
VS155	113	26	1,11
ESD160	118	26	1,15
ESM160	119	28	1,17
ESD200	147	37	1,46
ESM200	148	33	1,44
ESD250-10	177	35	1,69
ESG250	182	57	1,9
ESD315-13	203	37	1,91
ESG315	222	53	2,19
ESG355	246	59	2,43
ESG400	274	65	2,7
ESD450	323	94	3,32
ESG450-10	309	65	2,98
ESD500	346	94	3,5

EWA-PRE-mallit. Tulovesi 20°C poistuva vesi 70°C

Malli No	Öljynjäähdytin kW	Jälkijäähdytin kW	20/70 °C l/s
ESS11	8,9	1,7	0,05
ES15	12	2,4	0,07
ESS18	15	2,9	0,09
ES18	15	3	0,09
ES22	17	3,5	0,1
ES30	25	5	0,14
ES37	31	6	0,18
VS40	35	6,5	0,2
ES45	37	8	0,21
ES55	45	9,5	0,26
VS60	44	10	0,26
ES75	61	12	0,35
ESD75	58	15	0,35
VS80	56	12	0,32
ESD90	70	17	0,42
ESD110	87	22	0,52
VS130	97,5	23	0,58
ESD132	105	25	0,62
VS155	113	26	0,66
ESD160	118	26	0,69
ESM160	119	28	0,7
ESD200	147	37	0,88
ESM200	148	33	0,86
ESD250-10	177	35	1,01
ESG250	182	57	1,14
ESD315-13	203	37	1,15
ESG315	222	53	1,31
ESG355	246	59	1,46
ESG400	274	65	1,62
ESD450	323	94	1,99
ESG450-10	309	65	1,79
ESD500	346	94	2,1

EWA-DIR-mallit. Tulovesi 50°C poistuva vesi 70°C

Malli No	Öljynjäähdytin kW	Jälkijäähdytin kW	Öljynjäähdytin Vesimäärä 50/70 °C l/s	Erill. jälkijäähdytin Vesimäärä 20/30 °C l/s
ESS11	8,9	1,7	0,11	0,04
ES15	12	2,4	0,14	0,06
ESS18	15	2,9	0,18	0,07
ES18	15	3	0,18	0,07
ES22	17	3,5	0,2	0,08
ES30	25	5	0,3	0,12
ES37	31	6	0,37	0,14
VS40	35	6,5	0,42	0,16
ES45	37	8	0,44	0,19
ES55	45	9,5	0,54	0,23
VS60	44	10	0,53	0,24
ES75	61	12	0,73	0,29
ESD75	58	15	0,69	0,36
VS80	56	12	0,67	0,29
ESD90	70	17	0,84	0,41
ESD110	87	22	1,04	0,53
VS130	97,5	23	1,16	0,55
ESD132	105	25	1,25	0,6
VS155	113	26	1,35	0,62
ESD160	118	26	1,41	0,62
ESM160	119	28	1,42	0,67
ESD200	147	37	1,76	0,88
ESM200	148	33	1,77	0,79
ESD250-10	177	35	2,11	0,84
ESG250	182	57	2,17	1,36
ESD315-13	203	37	2,42	0,88
ESG315	222	53	2,65	1,27
ESG355	246	59	2,94	1,41
ESG400	274	65	3,27	1,55
ESD450	323	94	3,86	2,25
ESG450-10	309	65	3,69	1,55
ESD500	346	94	4,13	2,25

Kondenssiveden määrä

Kompressorien jälkijäähdyttimissä ja muissa paineilman jälkikäsitteilylaitteissa syntyy merkittäviä määriä kondenssivettä. Suomessa vallitseissa olosuhteissa paineilman lämpötila voidaan ilmajäähdytteisilläkin jälkijäähdyttimillä alentaa 30-35 °C alapuolelle. Jäähdytyksellä saavutettuun tulokseen vaikuttaa lisäksi monet ympäristötekijät kuten vuodenaikojen lämpötila ja kosteusvaihtelut, asennuspaikka ja asennusjärjestely, jäähdyttimen puhtaus jne. Jälkijäähdytetyn mutta kuivaamattoman paineilman vesihöyrypitoisuus on n 35-50 g / m³. Jäähdytyksen jälkeen paineilman suhteellinen kosteus on useimmiten 100%.

Keskikokoisen kompressorin (16m³/min) jälkijäähdyttimessä voi poistua n 70 litraa vettä yhden työpäivän aikana. Jäähdytyskuivaimen avulla voidaan poistettavaa vesimäärää lisätä vielä n 35 litralla ennen paineilman syöttämistä putkistoon, ja näin ehkäistä vesihöyryn kondensoituminen paineilmajärjestelmään.

Paineilman puristamisessa syntyvien kondenssivesien merkittävästä määrästä johtuen tulee paineilman tuotantolaitteiston välittömään läheisyyteen asentaa viemäri-liitäntä tai muulla luotettavalla tavalla hoitaa kondenssivesien poisventti paineilma laitteistolta.

Kondenssiveden poisto on tärkeä osa paineilman puhdistusprosessia

Paineilmaa puristettaessa ja jäähdytettäessä ei kondenssiveden muodostumista voida, - eikä halutakaan välttää. Jäähdytyksen seurauksena kondensoituneen veden ja öljyn poisto paineilmajärjestelmästä on oleellinen osa paineilman puhdistusprosessia. Kondenssivesi sisältää useimmiten öljyä, likapartikkeleita ruostetta ja kaikki imuilman sisältämät epäpuhtaudet. Öljyvapaat kondenssivedet ovat useimmiten happamia ja siten aggressiivisia nesteitä.

Elektronisesti ohjattu Bekomat



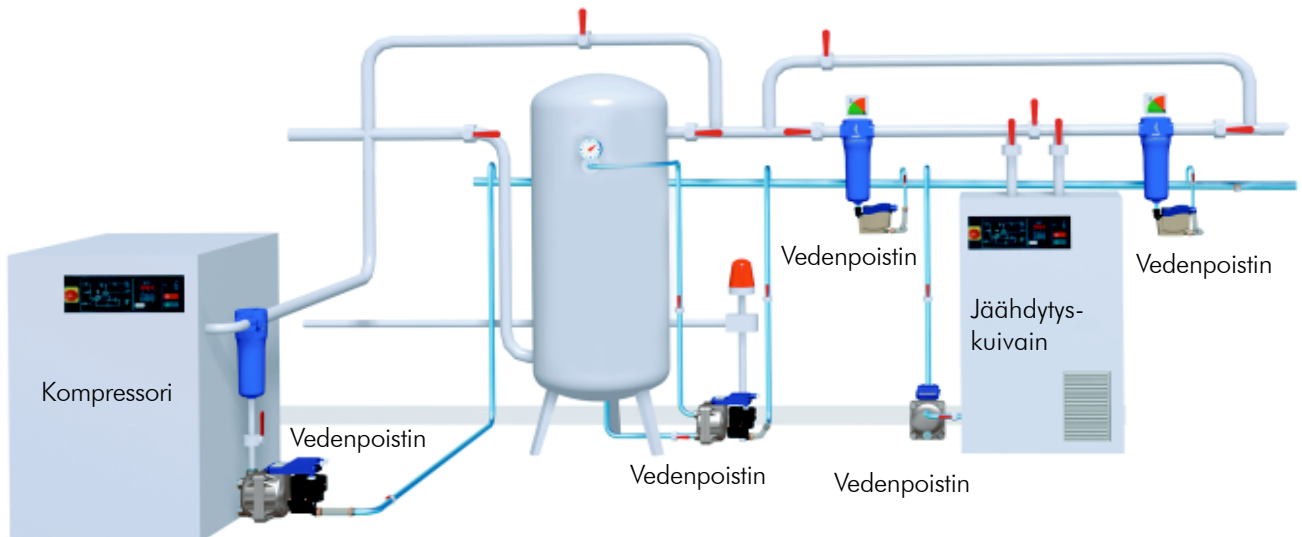
Uimuripoistin



Ajastimella varustettu magneettiventtiili



Paineilmakeskuksen vedepoistokohteet



Kompressorin jälkijäähdyttimessä tiivistyvän veden määrä eri imu ja loppulämpötiloilla

t ₁ = °C	0	10	15	20	25
t ₂ = °C	10	20	25	30	35
Ilman tuotto	Kondenssiveden määrä				
m ³ /min	l/h	l/h	l/h	l/h	l/h
1,00	0,13	0,26	0,36	0,49	0,65
2,00	0,26	0,52	0,72	0,97	1,31
3,00	0,40	0,78	1,07	1,46	1,96
4,00	0,53	1,04	1,43	1,95	2,62
5,00	0,66	1,30	1,79	2,43	3,27
6,00	0,79	1,56	2,15	2,92	3,93
7,00	0,92	1,82	2,51	3,41	4,58
8,00	1,05	2,08	2,86	3,90	5,23
9,00	1,19	2,34	3,22	4,38	5,89
10,00	1,32	2,60	3,58	4,87	6,54
12,00	1,58	3,12	4,29	5,84	7,85
14,00	1,84	3,64	5,01	6,82	9,16
16,00	2,11	4,16	5,73	7,79	10,47
18,00	2,37	4,68	6,44	8,76	11,78
20,00	2,63	5,20	7,16	9,74	13,09
25,00	3,29	6,49	8,95	12,17	16,36
30,00	3,95	7,79	10,74	14,61	19,63
35,00	4,61	9,09	12,53	17,04	22,90
40,00	5,27	10,39	14,31	19,48	26,17
45,00	5,93	11,69	16,10	21,91	29,44
50,00	6,59	12,99	17,89	24,35	32,72

t₁°C = imulämpötila
t₂°C = loppulämpötila jäähd.jälkeen
Imuilman suht. kosteus 70%

Kondenssivettä muodostuu aina paineilmaa pumpatessa

Paineilmaa pumpatessa ja jäähdytettäessä, kondenssiveden muodostumista ei voida välttää. Kondenssivesi sisältää kompressorista peräisin olevaa voiteluöljyä, sekä imuilman sisältämiä epäpuhtauksia. Kondenssiveden öljypitoisuus voi olla niinkin korkea kuin 10 000 mg/litra. Täydellisesti varusteltuun paineilmakeskukseen kuuluvat kompressorien lisäksi, suodatus ja kuivauslaitteistot, säiliö, lauhteenpoistimet sekä kondenssiveden käsittelyjärjestelmä.

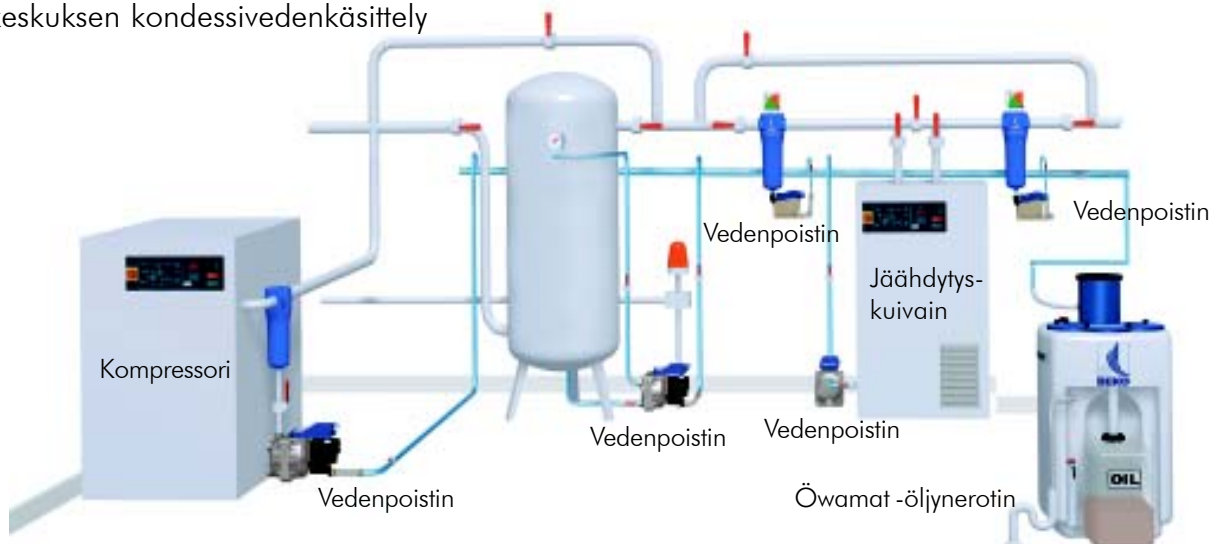
Konsenssivesi on ympäristölle haitallista

Mineraaliöljyinen kondenssivesi on vaikeasti puhdistettavissa biologisin menetelmin ja suurina määrinä vaikeuttaa biologisen vedenpuhdistuksen prosesseja. Tämän johdosta, useimmissa euroopan maissa on asetettu viemäroittävän veden mineraaliöljypitoisuuden ohjearvoksi enintään 20 mg/litra. Monet paikalliset viranomaiset ovat asettaneet tästäkin pienempiä ohjearvoja. Määräysten laiminlyöminen saattaa johtaa rangaistuksiin yhtiötä, ja vastuuhenkilöitä kohtaan.

Puhdista öljypitoiset kondenssivedet siellä missä niitä syntyy.

Yksinkertaisin ja helpoin tapa on puhdistaa kondenssivedet siellä missä niitä syntyy, eli paineilmakeskuksessa. Näin vältetään turhilta keräily, kuljetus varastointi ja ongelmajätteiden käsittelystä syntyviltä kustannuksilta.

Paineilmakeskuksen kondenssivedenkäsittely



Kondenssivesi pitää käsitellä ennen viemärointiä.

Useampien maiden lainsäädäntö rajoittaa, tai kieltää kokonaan mineraaliöljyjen päästämisen vesistöihin ja muulle ympäristöön. Useimmissa maissa viemäriin päästettävän öljyemulsion raja-arvoksi on asetettu 20 mg mineraaliöljyä vesilitraa kohden.

Tavallisesti paineilmaasta erottuva kondenssivesi sisältää 99% vettä ja vain 1% kompressorista peräisin olevaa öljyä. Öljyisen kondenssiveden käsittely paikallisesti on halvempaa kuin öljyisen kondenssiveden toimittaminen jätteenkäsittelylaitoksille hävitettäviksi.

Tamrotor ruuvikompressorit -luotettava ratkaisu kaikkiin teollisuuden paineilman tarpeisiin.



Tamrotor Kompressori Oy palvelee Suomen teollisuutta kaikissa paineilman tuottoon, jakeluun ja jalostamiseen liittyvissä kysymyksissä. Asiakaskuntamme koostuu useasta tuhannesta paineilmaa käyttävästä teollisuuslaitoksesta. Merkittävänä asiakasryhminä on konepaja kemia, puunjalostus, ja paperiteollisuus, joille olemme vuosikautia toimittaneet paineilman tuotantolaitteita sekä huolto ja varaosapalveluita. Tuhansia kappaleita Tamrotor ruuvikompressoreja on niinkään käytössä valtion ja kunnallisissa laitoksissa kaikkialla Suomessa.

Tuotevalikoimamme koostuu paineilmatekniikan tunnetuimmista ja arvostetuimmista tuotteista. Toimintamme kulmakivenä on ammattitaitoinen myynti, huolto ja varaosapalvelu kaikille edustamillemme tuotteille.

- Laitemyynti varaosapalvelu
- Sunnittelu ja asennuspalvelu
- Kompressorien ohjausjärjestelmät
- Erikoiskuivaimien suunnittelu ja valmistus
- Jäähdytyskuivaimet
- Kompressorikoneikkojen valmistus
- Hälytys ja ohjauskeskukset
- Kompressorihuolto
- Adsorptiokuivain huolto
- Kuivausainepalvelu
- Paineilman kulutus mittaukset