

Hiukkaspesurit



18.11.2020

Tämä teos on lisensoitu Creative Commons Nimeä-EiKaupallinen-JaaSamoin 4.0 Kansainvälinen -lisenssillä.
Tarkastele lisenssiä osoitteessa <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Kaupallinen käyttö sallittu vain KiertotalousAMK-hankkeen 2018–2020 (OKM rahoituspäätös OKM/302/523/2017) partnereille.

kiertotalousamk.fi

kierto-
talous
AMK
CIRKULÄR EKONOMI YH
CIRCULAR ECONOMY UAS



Opetus- ja
kulttuuri-
ministeriö

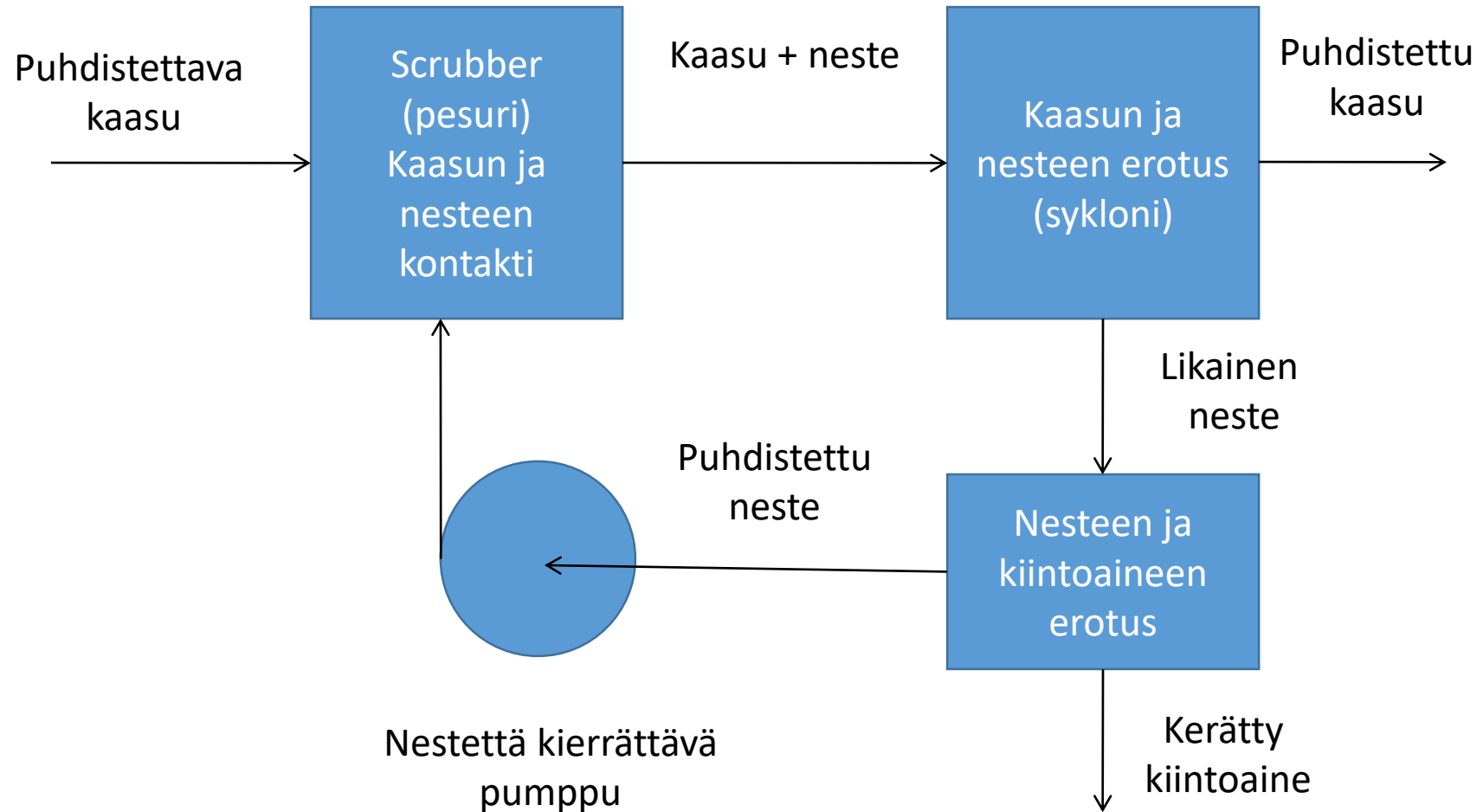
Pesurit

- Ilmansuojelutekniikassa pesuri tarkoittaa perinteisesti laitetta, jossa hiukkaset kerätään nestepisaroiden pinnalle
- Pienet hiukkaset kiinnittyvät pisaraan, jos joutuvat kontaktiin sen kanssa
- Uudempia laitteita ovat kaasupesurit ja kuivapesurit

Miksi pesuri?

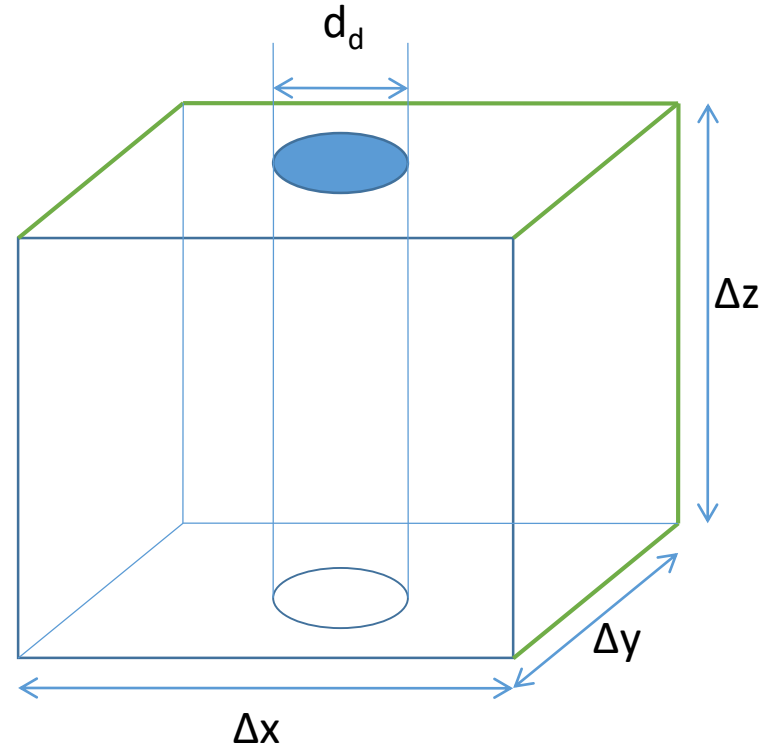
- Pienten hiukkasten kerääminen syklonilla tehotonta
- Jos hiukkaset saadaan tarttumaan 50 µm pisaraan, ne on helppo kerätä syklonilla
- Jäljelle jää kysymys likaantuneen nesteen (yleensä vesi) käsittelystä
 - Laskeutusallas tavallisin erotusmenetelmä
 - Paras tapaus, jos neste voidaan käyttää sellaisenaan prosessissa
 - Pahin tapaus, jos ilmansuojeluongelma muuttuu vesiensuojeluongelmaksi

Pesurilaitteisto



Hiukkasten keräys pisarasumussa

- Tarkastellaan tilavuutta $\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$
- Hiukkasten pitoisuus kaasussa on c (kg/m³)
- Tilavuuden läpi putoaa pisara, jonka halkaisija on d_d
- Kuinka paljon hiukkasia saadaan kerättyä?



- Pisanan pyyhkäisemä tilavuus on sylinteri, jonka tilavuus on:

$$V = \frac{\pi}{4} d_d^2 \Delta z$$

- Kerättyjen hiukkasten massa = sylinterin sisällä olleiden hiukkasten massa x erotusaste
 - Erotusaste tässä: pisaraan tarttuneiden hiukkasten osuus kaikista sylinterissä olleista hiukkaisista
- Yhteen pisaraan siirtynyt massa:

$$V \cdot c \cdot \eta_t = \frac{\pi}{4} d_d^2 \Delta z c \eta_t$$

Pitoisuuden muutos

- Tilavuuden läpi putoaa N_d kpl sadepisaroita
- $dc/dt = (\text{pisaraan siirtynyt massa} \times \text{pisaroiden määrä/aika}) / \text{alueen tilavuus}$

$$\frac{dc}{dt} = -\frac{\frac{\pi}{4} d_d^2 \Delta z c \eta_t N_d}{\Delta x \Delta y \Delta z} = -\frac{\pi}{4} d_d^2 c \eta_t \frac{N_d}{\Delta x \Delta y} \frac{\pi/6 d_d^3}{\pi/6 d_d^3} = -1,5 \frac{c \eta_t}{d_d} \left(\frac{N_d \frac{\pi}{6} d_d^3}{\Delta x \Delta y} \right)$$

- Sulussa on pesunesteen tilavuus/aika (eli Q_L) jaettuna pestyn alueen vaakasuoralla pinta-alalla

$$\frac{dc}{dt} = -\frac{1,5}{d_d} c \eta_t \frac{Q_L}{A}$$

$$\frac{dc}{c} = -\frac{1,5}{d_d} \eta_t \frac{Q_L}{A} dt$$

$$\ln p = \ln \frac{c}{c_0} = -\frac{1,5}{d_d} \eta_t \frac{Q_L}{A} \Delta t$$

$$c = c_0 \exp\left(\frac{-1,5 \eta_t Q_L \Delta t}{d_d A}\right)$$

Integroidaan c:n suhteen

p on läpäisy eli kuinka suuri osa hiukkasista menee laitteen läpi

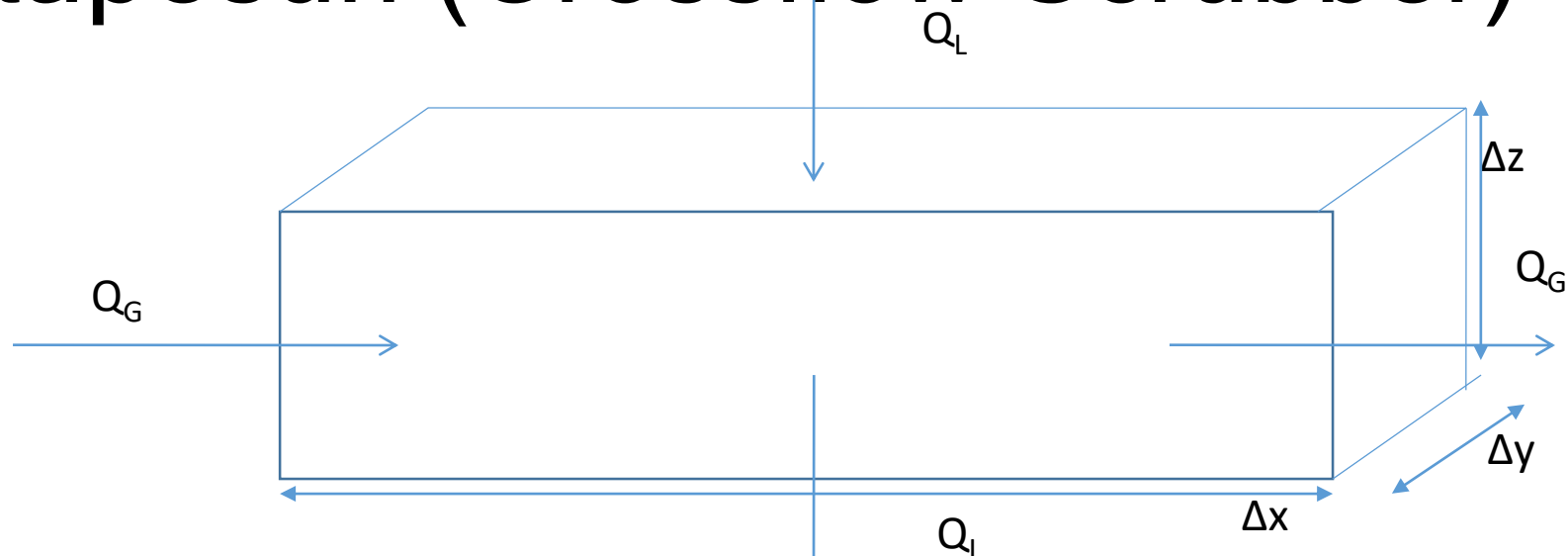
c on epäpuhtauden pitoisuus pesurin jälkeen, c_0 ennen pesuria

Keräystehokkuuteen vaikuttaa

$$c = c_0 \exp\left(\frac{-1,5\eta_t Q_L \Delta t}{d_d A}\right)$$

- Alkukonsentraatio c_0
 - Hiukkasten ”tarttuvuus pisaroihin” η_t , joka on pienille hiukkasille alhainen
 - Pesunesteen tilavuusvirta Q_L ja pisaroiden koko d_d
 - Pyyhkäisty poikkipinta-ala A
 - Kaasun viipymisaika pesurissa
-
- Pesurin puhdistustehoa voidaan optimoida erilaisilla virtausjärjestelyillä
 - -> ristivirta-, vastavirta- ja myötävirtapesurit
 - Yleisimmin käytössä venturipesuri

Ristivirtapesuri (Crossflow Scrubber)



- Pesuri on laatikko, johon useat suuttimet jakavat pesunesteen (Q_L), neste kerätään pesurin pohjalta
- Kaasun voidaan olettaa virtaavan tasaisesti pesurin läpi, kaasun virtausnopeus on $Q_G / \Delta y \Delta z$
- Silloin kaasu läpikulku pesurissa kestää (matka/nopeus):

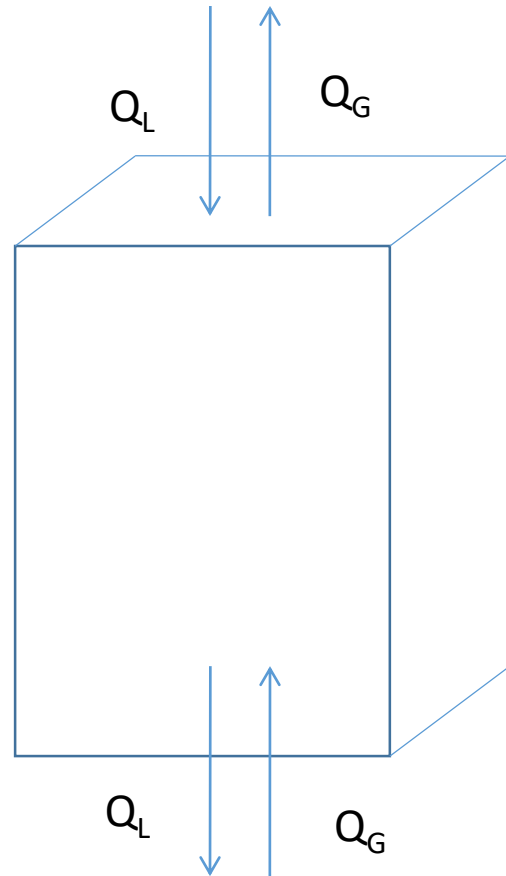
$$\Delta t = \Delta x \Delta y \Delta z / Q_G$$

- Sijoitetaan Δt aikaisempaan yhtälöön, saadaan:

$$\ln p = \ln \frac{c}{c_0} = -\frac{1,5\eta_t Q_L \Delta x \Delta y \Delta z}{d_d A Q_G} = -1,5 \frac{\eta_t}{d_d} \frac{Q_L}{Q_G} \Delta z$$

- Mitä pienempi pisara ja korkeampi pesuri, sitä parempi puhdistusteho
- Pienet pisarat kulkeutuvat helposti kaasuvirtauksen mukana ulos pesurista
 - Tehokas hiukkasten puhdistus vaatii esim. syklonin jälkierottelijaksi

Vastavirtapesuri (Counterflow Scrubber)



- Kaasu virtaa pesurin läpi alhaalta ylös
- Pesuneste putoaa pieninä pisaroina ylhäältä alas
- Saadaan pitkä kontaktiaika pisaroiden ja kaasun välille

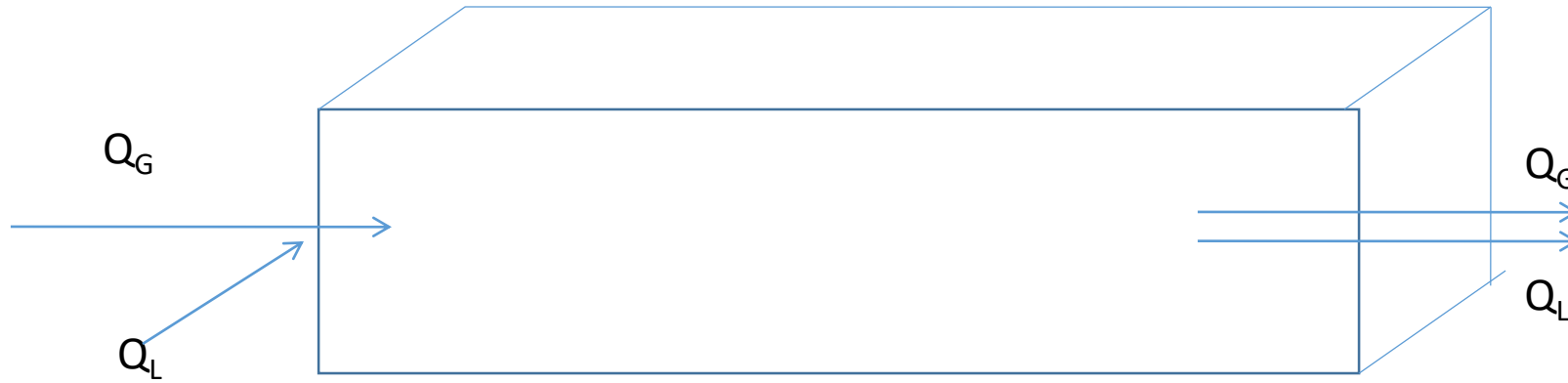
- Vastavirtapesurille saadaan:

$$\ln p = \ln \frac{c}{c_0} = -1,5 \frac{\eta_t}{d_d} \frac{Q_L}{Q_G} \frac{v_t}{v_t - v_G} \Delta z$$

- v_t on pisaran terminaalinopeus ja v_G kaasun pystysuora nopeus
- Puhdistus on sitä tehokkaampaa, mitä pienempiä pisarat ovat (mutta samalla v_t pienenee)
- Jos $v_t = v_G$, saadaan täydellinen puhdistus, mutta neste ei enää poistu alas ja pesuri tulvii.
- Vastavirtapesuri ei kovin yleinen hiukkasten poistamisessa, käytetään kyllä kaasuille

Myötävirtapesuri (co-flow scrubber)

- Tavoitteena järjestely, jossa hyvin pienet pisarat liikkuvat suurella nopeudella suhteessa puhdistettavaan kaasuun
- Neste ja kaasu syötetään pesuriin samasta päästä
 - Neste kuitenkin 90° kulmassa kaasuun nähden
- Nestepisarat tulevat kaasun mukana ulos pesurista -> erotus syklonilla



- Nesteen nopeus x-akselin suuntaan on alussa ≈ 0
- Kaasulla voidaan käyttää suuria nopeuksia, jopa 120 m/s -> suuri suhteellinen nopeusero

Venturipesuri (Venturi Scrubber)

- Kuvia venturipesureista löytyy netistä: venturi scrubber

Venturipesuri

- Kehittyneempi versio myötävirtapesurista
- Pesurin vyötärön poikkipinta-ala on paljon pienempi kuin sisääntulo ja ulosmeno
 - Pesurinesteen ruiskutus -> vesipisaroituu sumuksi
- Saadaan paljon suurempi virtausnopeus kapeikossa
 - Esim. poikkipinta-ala 1/5 -> 5-kertainen nopeus
- Putken laajimmassa kohdassa (diffuusori) vesipisarat ja kaasun hiukkaset liittyvät isommiksi pisaroiksi (hiukkasiksi)
- Suuri virtausnopeus pienellä painehäviöllä
 - Painehäviö kuitenkin suurempi kuin muissa risti- ja vastavirtapesureissa

Pesutorni (Scrubber Tower, Spray Tower, Scrubber Column)

- Neste tulee savukaasuun myötä- tai vastavirtaan kaasun suhteen.
- Pesuneste suihkutetaan pieninä pisaroina (sumuna) useissa kerroksissa.

Kuva Counterflow Spray Tower, Wikipedia



Packed Bed Tower Scrubber (Täytekappalekolonni)

- Nesteen ja kaasun kontaktia voidaan tehostaa täytekappaleilla (esim. muovikappaleet, keraamiset renkaat, aallotetut levynkappaleet)

Kuva esim. https://www.researchgate.net/figure/Counter-current-single-stage-packed-tower-scrubber_fig1_235390349/download
kiertotalousamk.fi



Laitteen valinta

- Vaikuttavat tekijät:
- Hiukkasten koko
- Vaadittava erotusaste
- Puhdistettavan kaasun määrä (virtaus)
- Laitteiston puhdistusväli
- Kerättävien hiukkasten ominaisuudet

Sääntöjä

- Pienille ja satunaisille virroille käyvät kertakäyttölaitteet
- Suurille ja tasaisille virroille jatkuvatoimiset laitteet
- Tahmeat hiukkaset (esim. terva)
 - kertakäyttöiset laitteet
 - nesteen avulla laitteessa (sykloni, suodatin tai sähkösuodatin), jonka pinnalla nestevirta
- Pintoihin tarttuvat partikkelit vaativat erikoispinnoitteita
- Hiukkasen sähköisillä ominaisuuksilla on merkitystä
- Alle 5 μm hiukkasille sähkösuodatin, letkusuodatin tai pesuri
 - Joillekin tarttumattomille hiukkasille sykloni ainoa toimiva
- Suurilla virtausnopeuksilla pesurien vaatiman pumppauksen kustannukset suuria
- Korroosio ja happokastepiste täytyy ottaa aina huomioon

Yhteenveto käyttökohteista

Laite	Käyttökohteet	Edut	Haitat	Tyypillinen kuormitus (g/m ³)	Paine-häviö (Pa)	Hankinta- / käyttö-kustannus
Kammiot, syklonit	Murskaus, hionta, hakkeen- ja purunkuljettimet, pneumaattiset kuljetus-järjestelmät	Rakenne yksinkertainen ja huoltovapaa	Pölyn aiheuttama kuluminen, alhainen erotusaste pienille hiukkasille. Laskeutuskammion suuri tilantarve	0,1 – 100	500 – 1500	Alhainen / kohtuullinen
Kuitu-suodattimet	Kaikki kuiva pöly	Korkea erotusaste pienille hiukkasille	Korkea painehäviö, heikko korkeiden lämpötilojen kesto, ei sovi tahmeille pölyille	0,1 – 20	750 – 1500	Kohtuullinen / kohtuullinen
Sähkö-suodatin	Lentotuhka, hitsaushuurut	Pieni painehäviö ja energiankulutus, korkea erotusaste pienille hiukkasille	Ei sovi kaikille pölyille. Kunnossapito vaatii asiantuntemusta	0,1 – 2	100 – 250	Korkea / alhainen
Venturi-pesuri	Kemialliset ja metallurgiset huurut	Myös tahmeat ja syttyvät pölyt. Korrodoivat kaasut ja pölyt voidaan neutraloida samalla	Korkea painehäviö, pesuneste käsiteltävä, korroosion mahdollisuus laitteessa, ei kestä jäätymistä	0,1 – 100	500 – 4000	Alhainen / korkea