

Skrubiranje

(pranje plinova i mokro otprašivanje)

uklanjanje suspendiranih čestica mokrim postupcima,
istovremeno uklanjanje krutih čestica i plinova

Skruberi/ispirači – uređaji koji omogućavaju prikupljanje krutih čestica uslijed kontaktiranja onečišćenog plina s odgovarajućom kapljevnom (apsorbent)- na taj način nastaju **aglomerati čestica-kapljica** znatno većih dimenzija od polaznih čestica pa se na taj način olakšava njihovo izdvajanje iz onečišćenih plinskih struja!

- razbijanje/raspršivanje kapljevne na male kapljice koje će pospješiti nastajanje aglomerata (čestica-kapljica) ili stvaranje tankog filma kapljevne

Imaju istu funkciju kao i kod apsorpcije plinova!

Ključna svojstva: topljivost plina i brzina prijenosa tvari

Kontakt plina i kapljica: istosmjerni ili protusmjerni tok

Mokro otprašivanje (mokro skrubiranje)

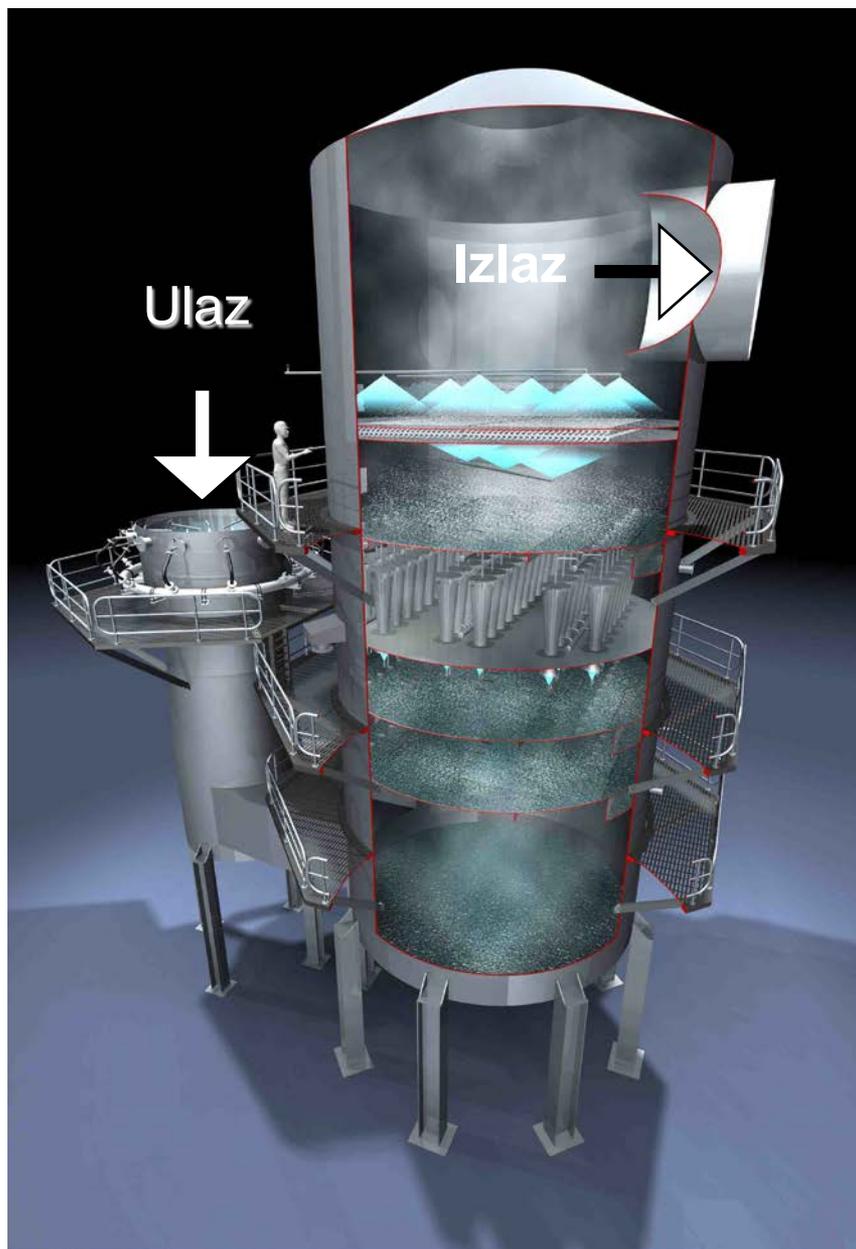
- tehnološka operacija koja se zasniva na nastajanju aglomerata ili vodene zavjese kroz koju prolazi onečišćeni plin (*stvaranje tankog sloja/filma kapljevine preko koje prolazi onečišćeni plin*)
- u oba slučaja čvrste čestice se vežu ("lijepe") za kapljevinu, postaju veće (aglomerati) i lakše ih je ukloniti, a plin odlazi prema odvodnom kanalu odn. izlazu u gornjem dijelu uređaja, a nastala kapljevina zajedno s česticama (mulj) odvodi se u donjem dijelu uređaja
- pri raspršivanju nastaju kapi promjera 0,1 do 1,0 μm
- *glavni mehanizam separacije zasniva se na inerciji aglomerata kapljica+čestica!*

Raspršivanje ili dispergiranje tekuće faze postiže se na različite načine primjenom:

- Mlaznica/brizgalica
- Cjevčica za raspršivanje
- Rotirajućih diskova
- Sudaranjem mlazova tekućine sa strujom zraka
- Uvođenjem zraka pod pritiskom...

Različite izvedbe skrubera s obzirom na način uvođenja kapljevine:

- skruberi s raspršivanjem (kolonski skruberi)
 - ciklonski skruberi s raspršivanjem (vrtložni) - tangencijalno uvođenje plina
 - skruberi s pregradama
 - skruberi s punjenim slojem
 - venturijski skruberi
 -
- razlika u izvedbi skrubera rezultat je primjene odgovarajućeg mehanizma dispergiranja (raspršivanja) kapljevine!
- *Skruberi s raspršivanjem* često se koriste *za hlađenje ili vlaženje zraka*, a pri čišćenju zraka dolaze u kombinaciji s drugim uređajima.
 - Koriste se i *za izdvajanje kiselih plinova* (HCl, HF, SiF₄, SO₂, Cl₂, H₂S....); za apsorpciju H₂S i SO₂ često se umjesto vode i vodenih otopina koriste amini (monoetanol-, dietanol-, trietanolamin i sl.), ali takvi apsorbenzi ograničeni su za primjenu na sustave bez prisutnosti krutih čestica



učinkovitost za uklanjanje čestica (>99.5%)
učinkovitost za uklanjanje kiselih plinova i
kondenzata (>98.9%)
učinkovitost za uklanjanje teških metala
(95% - 99% +)

MicroMist™ Scrubber
EnviroCare International

Princip rada

- U donji dio skrubera dovodi se onečišćeni plin, koji struji prema gornjem dijelu skrubera, gdje voda iz mlaznica, dispergirana u obliku kiše stvara vodenu zavjesu s kapljicama, na koje se "lijepe" čvrste čestice i tako nastali aglomerati zajedno padaju u taložnu komoru u donji dio uređaja
- Iz taložne komore odvodi se otpadna voda (mulj)
- Plin ulazi u donjem dijelu uređaja i "prolazi" kroz vodenu zavjesu te izlazi pročišćen na vrhu skrubera; uglavnom uz odvajач kapljica na vrhu uređaja

Učinkovitost: 65-75 %

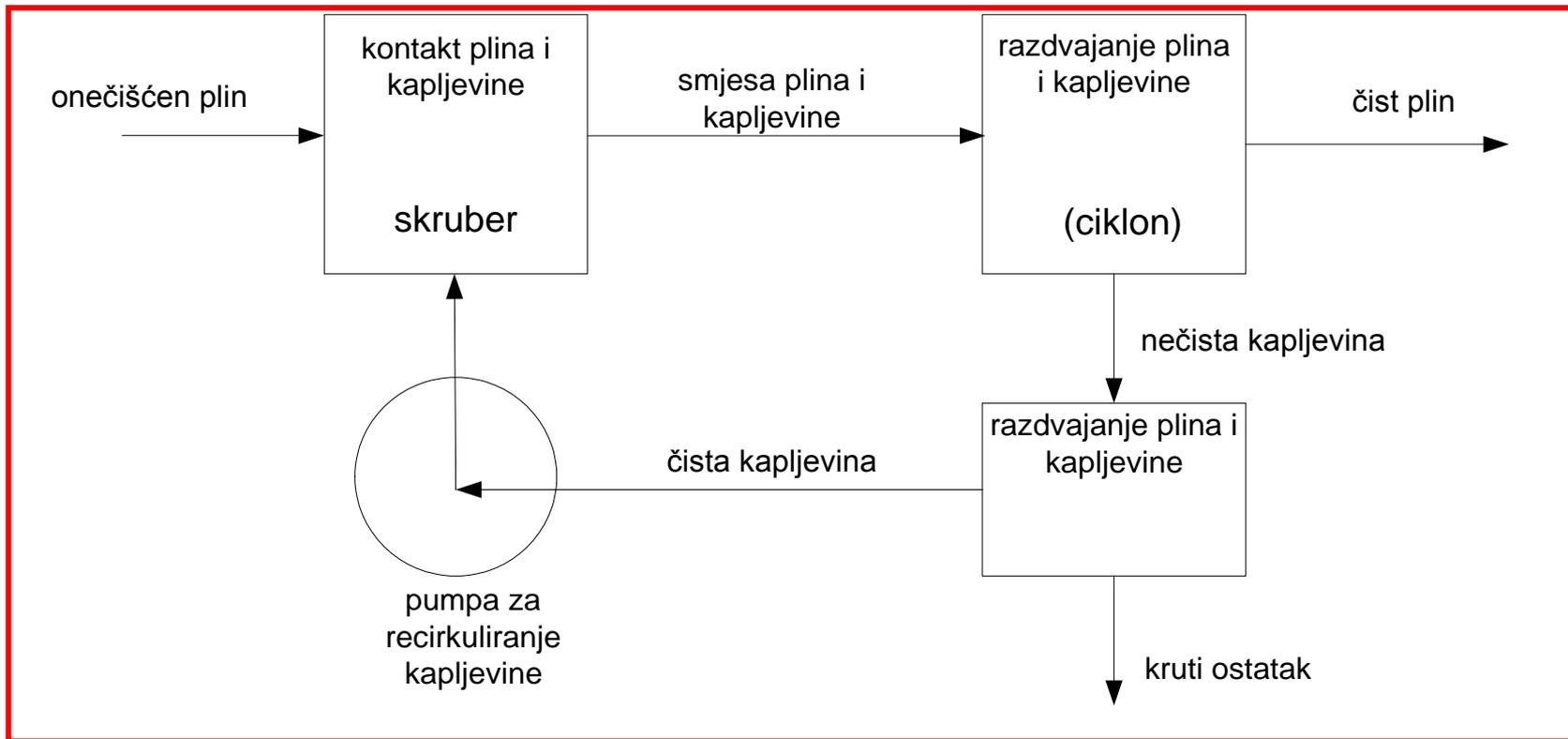
- Još bolji rezultati postižu se **ako se skruberi u donjem dijelu ispune odgovarajućim materijalom/punilom**. U tom slučaju, jedan dio čestica se veže za materijal ispune, a ostale čestice u plinu se izdvajaju kao i u neispunjenom skruberu.

Učinkovitost: 75 - 85 %

- **Brzina strujanja plina ne smije biti prevelika (1-5 m/s)**, jer bi u suprotnom plin odnio sa sobom kapljice (odvajачi kapljica na vrhu skrubera), a potrebno je osigurati i dovoljno dugo vrijeme kontaktiranja

Najbolji rezultati postižu se u *Venturijevim skruberima*:

- za čestice dimenzija od 0,5 μm postiže se *stupanj učinkovitosti i do 99%*.
- onečišćeni plin dovodi se kroz cijev, gdje se zbog naglog sužavanja cijevi na kraju, naglo povećava brzina strujanja plina; istovremeno vodena pumpa ubrizgava vodu, koju plin raspršuje i zajedno tangencijalno ulaze u ciklon.
- zbog velikih brzina strujanja i djelovanja centrifugalnih sila kapljevina sa česticama udara u zidove ciklona, a zatim se slijeva i odlazi u taložnik.
- **Venturijevi skruberi, osim za otprašivanje, također služe za hlađenje plinova.**



Dijelovi integriranog sustava za skrubiranje (mokro otprašivanje) u složenijim izvedbama skruberu

Vrste skrubiranja

Mokro skrubiranje (ili apsorpcija) – za otprašivanje i pranje plinova

– prijenos tvari između topljivog plina i otapala (često voda) pri njihovom međusobnom kontaktu

- *Fizičko skrubiranje* – koristi se za uklanjanje kemikalija (fizički procesi prijenosa)
- *Kemijsko skrubiranje* – uklanjanje i smanjenje koncentracije otopljenih plinovitih komponenata zbog kemijske reakcije
- *Fizičko-kemijsko skrubiranje*

(komponenta je otopljena u apsorbirajućoj tekućini i sudjeluje u reverzibilnoj kemijskoj reakciji koja omogućava izdvajanje plinovite komponente, npr. zbog njezinog provođenja u topljiviji oblik)

Suho skrubiranje – najčešće za uklanjanje plinovitih komponenata i problematičnih komponenata (npr. HF, SO₂, HCl, PAH), teških metala, mirisa iz otpadnog plina ili korozivnih plinova...ubrizgavanje/raspršivanje suhog absorbensa

(kasnije će biti govora o njima)!

Na apsorpciju onečišćujuće tvari u otapalu utječe:

- velika površina kontakta
- velik omjer kapljevina/plin; vel. promjera kapljica
- velika koncentracija onečišćujuće tvari u pl. struji
- niža temperatura

Povećanje učinkovitosti uklanjanja sitnih čestica :

a) primjena veće energije

To se može postići:

- povećanjem tlaka plina
- atomiziranjem veće količine vode (otapala)

b) metode koje dovode do porasta veličine čestica/aglomerata:

- snižavanjem temperature \Rightarrow kondenzacija pare
- povećanje protoka \Rightarrow porast turbulencije
- toplinski gradijenti u uskim prolazima skrubera \Rightarrow raste difuzija čestica u kapljevini

Glavno področje primjene procesa skrubiranja pri obradi odpadnih plinova:

- Uklanjanje/apsorpcija plinovitih komponenata (vodikovi halidi, SO_2 , NH_3 , H_2S ili VOC...)
- uklanjanje krutih čestica malih dimenzija/otprašivanje (čestice obično manje od 2-3 μm)

Otopine za skrubiranje:

- **H₂O** (halidi, NH₃ i dr.)
- **alkalne otopine** - za uklanjanje kiselih komponenata, npr. halida, SO₂, fenola, Cl₂ i dr.; za desulfurizaciju bioplina i dr.
- **alkalno-oksidacijske otopine**, npr. alkalna otopina s Na-hipokloritom, ClO₂, O₃ ili H₂O₂
- **Na₂S₄ otopine** za uklanjanje Hg
- **kisele otopine** (uklanjanje NH₃, amina i sl.)
- **otopine monoetanol amina (MEA) i dietanolamina (DEA)**(npr. za apsorpciju i uklanjanje H₂S)

Izbor vrste skrubera zavisi o:

- željenoj učinkovitosti
- potrebnoj energiji
- potrebnim aditivima (kem. i fiz.-kem. skrubiranje)
- značajkama otpadnih plinskih struja

⇒ obično rade sa prethodnim pothlađivanjem

(raspršivanjem, *quench*) *da bi se ohladio ulazni plin i istovremeno zasitila plinska struja*, izbjegavajući na taj način smanjenje brzine apsorpcije i isparavanja otapala

Proces uklanjanja krutih čestica u skruberu uključuje sljedeće stupnjeve:

1. kondicioniranje plina i čestica, tj. snižavanje temperature i zasićenje s vodenom parom
2. dispergiranje (raspršivanje) kapljevine, npr. strujom plina, sapnicama ili rotirajućim diskovima
3. sakupljanje krutih čestica u sloju kapljevine ili na kapima
4. uklanjanje krutih čestica i kapljevine iz struje otpadnog plina

*Potreba za kapljevinom u procesu skrubiranja je reda veličine
1-3 l/ m³ plina*

Značajke procesa skrubiranja

- uklanjanje vrlo malih čestica, plinova i alkalnih spojeva
- mali kapitalni troškovi u usporedbi sa elektrofiltrima i vrećastim filtrima
- velik pad tlaka \Rightarrow troškovi rada
- *plinovite otpadne smjese \Rightarrow tekuće otpadne smjese;*
(tehnički gledano to je **opravdano samo ako su volumni protoci otpadne vode zanemarivo mali u odnosu na volumne protoke otpadnog plina i ako se obrada tako nastalih vodenih tokova može provesti primjenom nekog jednostavog procesa**)
- ulazne brzine strujanja plina: ~ 100 m/s
- učinkovitost: ~ 99 %
- pad tlaka: do 1 bar!

Prednosti:

- mogu se koristiti za obradu zapaljivih i eksplozivnih plinova bez posebnih rizika
- omogućavaju istovremenu apsorpciju plina i odvajanje krutih čestica u samo jednom stupnju
- omogućavaju hlađenje toplih plinova (i kasniju primjenu nekog drugog procesnog uređaja)
- ukupna učinkovitost može se mijenjati
- korozivni plinovi i krute čestice mogu se neutralizirati
- dolaze u različitim izvedbama \Rightarrow velika fleksibilnost

Nedostaci:

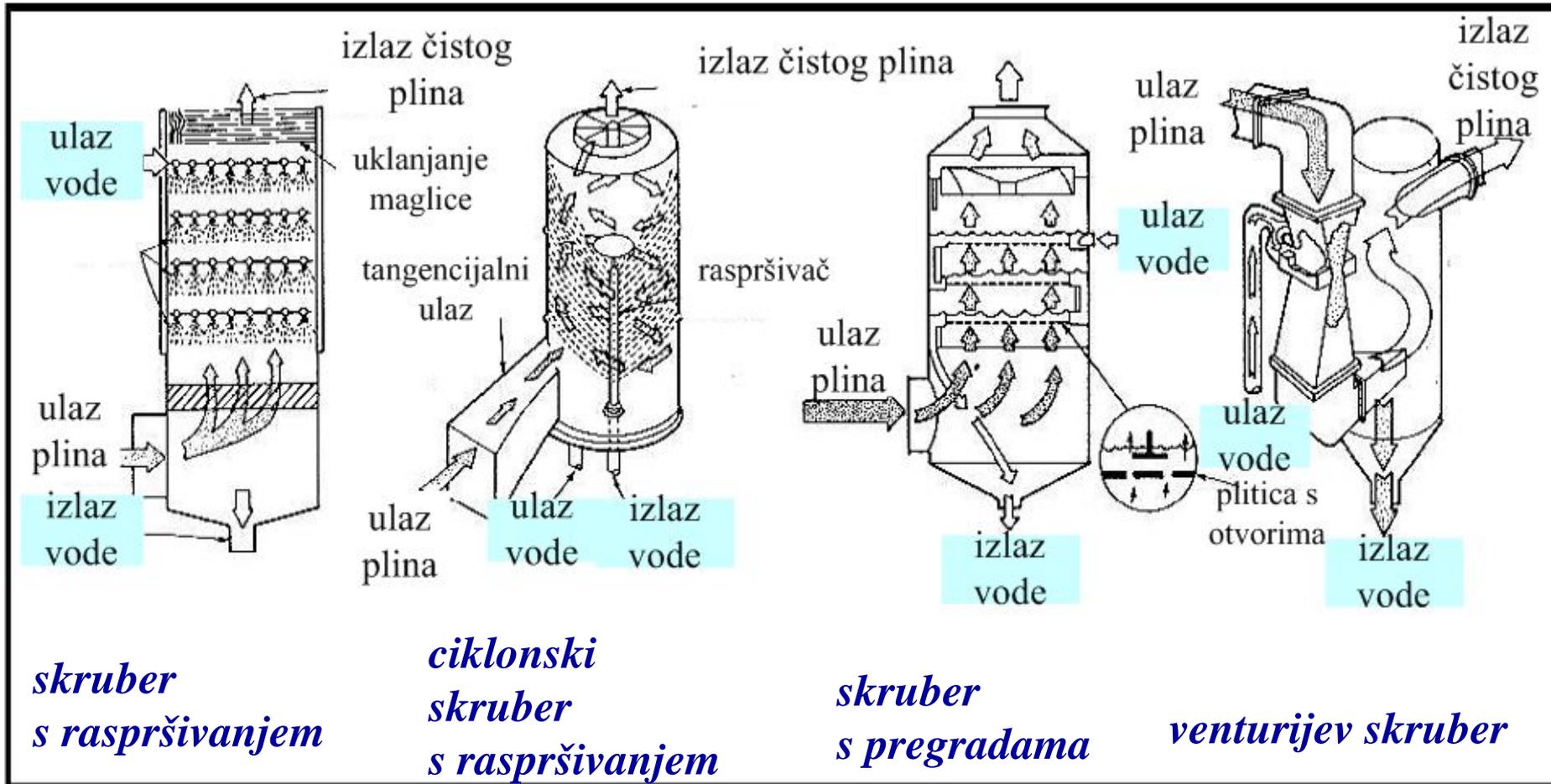
- veliki problemi vezani uz koroziju, abraziju i oštećenje rotirajućih dijelova, mlaznica i sl.
- dovode do problema vezanih uz obradu otpadnih voda,
- zaštita od pothlađivanja; ponekad je potrebno predgrijavanje,
- prikupljene čestice ponekad mogu biti nečiste i ne mogu se jednostavno reciklirati,
- odlaganje nastalog krutog otpada/mulja može biti skupo,
- problemi vezani uz ponovno pokretanje rada i dr.
- velik Δp (potreba za energijom)

Područja primjena skrubera:

- metalurška ind.
- kemijska industrija
- ljevaonice
- spalionicama
- ind. papira i dr.

- uobičajena primjena za uklanjanje kiselih plinova i mirisa
- primjena ograničena na uklanjanje jako topljivih plinova

Različite izvedbe skrubera



Skruber s raspršivanjem (ili kolonski skruber)

- otpadni plin se dovodi u kontakt sa raspršenim kapima; veličina kapi mora se dobro optimirati primjenom **sapnica/mlaznica** da se postigne zadovoljavajuća površina kontakta
- iz vode koja **recirkulira** kroz sustav moraju se ukloniti krute čestice da bi se spriječilo prljanje sapnica (čišćenje i zamjena sapnica predstavlja glavni dio posla vezanog uz održavanje sustava)
- ukupna učinkovitost iznosi ca. 90 % za čestice $> 8 \mu\text{m}$
- mala potrošnja energije, rade pri relativno malom padu tlaka (mali Δp)
- primjena u ind. papira i dr.

Različite izvedbe skrubera s raspršivanjem

- okomite izvedbe skrubera s raspršivanjem
- vodoravne izvedbe skrubera s raspršivanjem

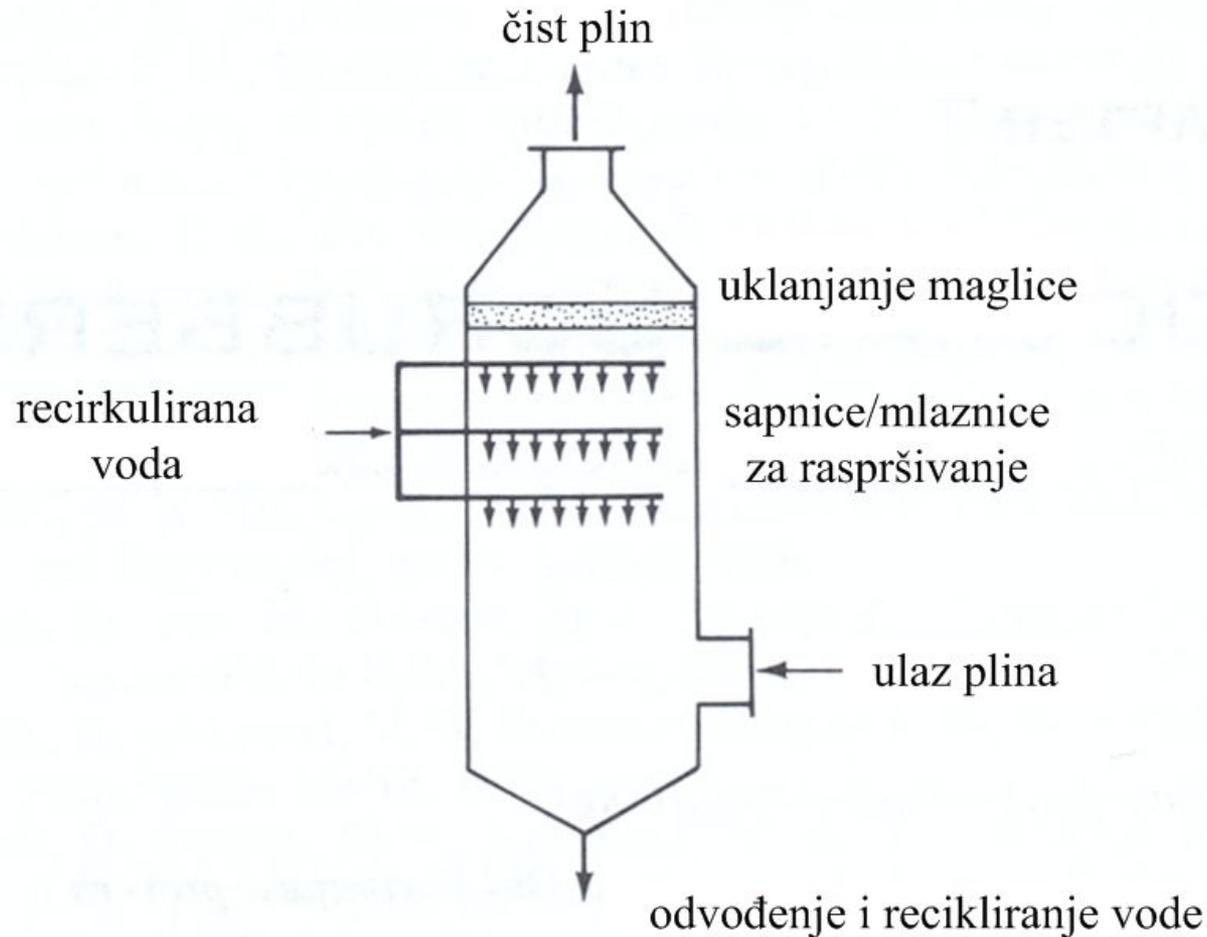
protok kapljevine: 1,34 – 2,68 l/m³

tlak kapljevine: 241-344 Pa

Učinkovitost procesa zavisi o:

- veličini kapi
- protoku plina
- omjeru protoka plin/kapljevina
- putanji kapi

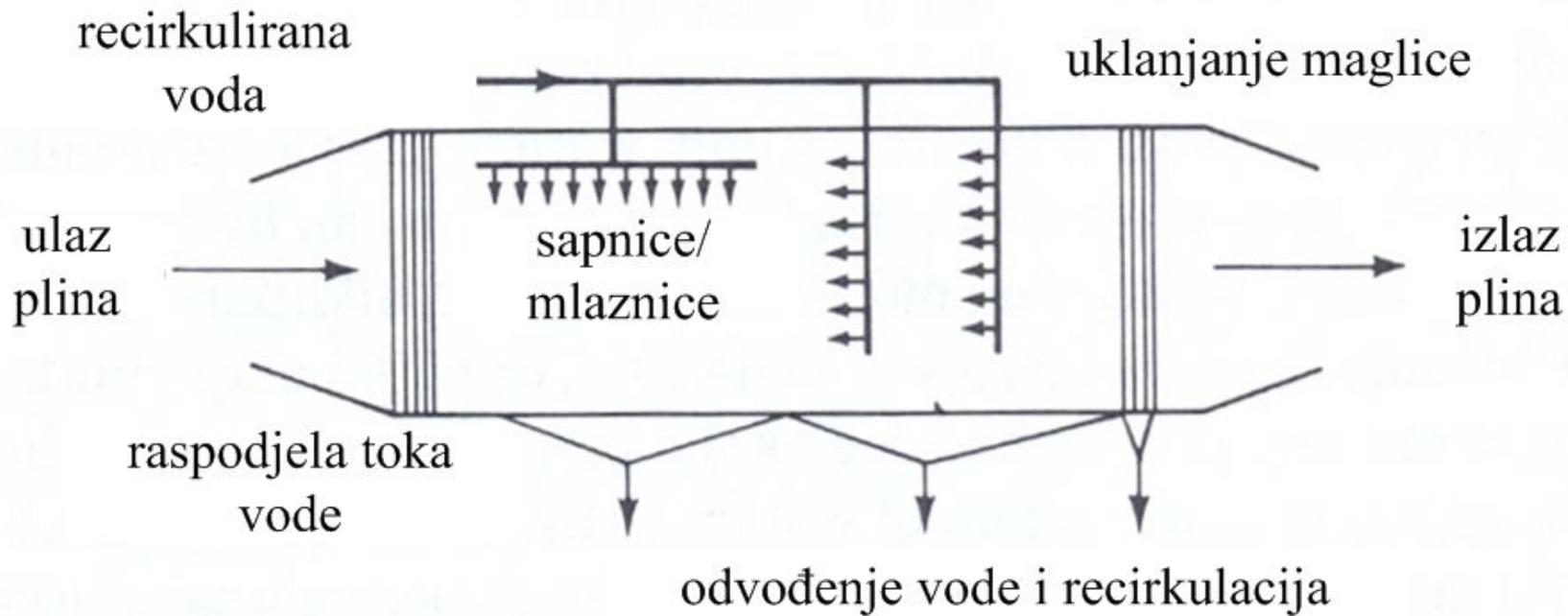
a) okomit skruber s raspršivanjem (protustrujni tok)



potreban je **velik omjer kapljevina-plin** za uklanjanje finih čestica: $> 3 \text{ l/m}^3$

- kapi moraju biti dovoljno velike da bi njihova brzina taloženja bila $>$ linearne brzine strujanja plina

b) vodoravan skruber s raspršivanjem (poprečni tok)



Ciklonski skruberi s raspršivanjem

- tangencijalno uvođenje nečistog plina – veće linearne brzine plina (centrifugalne sile)
- dodatne centrifugalne sile omogućavaju dobru separaciju čestica i plina i omogućavaju rad s manjim dimenzijama kapi \Rightarrow veća učinkovitost u odnosu na kolonski skruber s raspršivanjem

učinkovitost: ca. 95 % za čestice $> 5 \mu\text{m}$

protok kapljevine: 0,4-0,8 l/m³

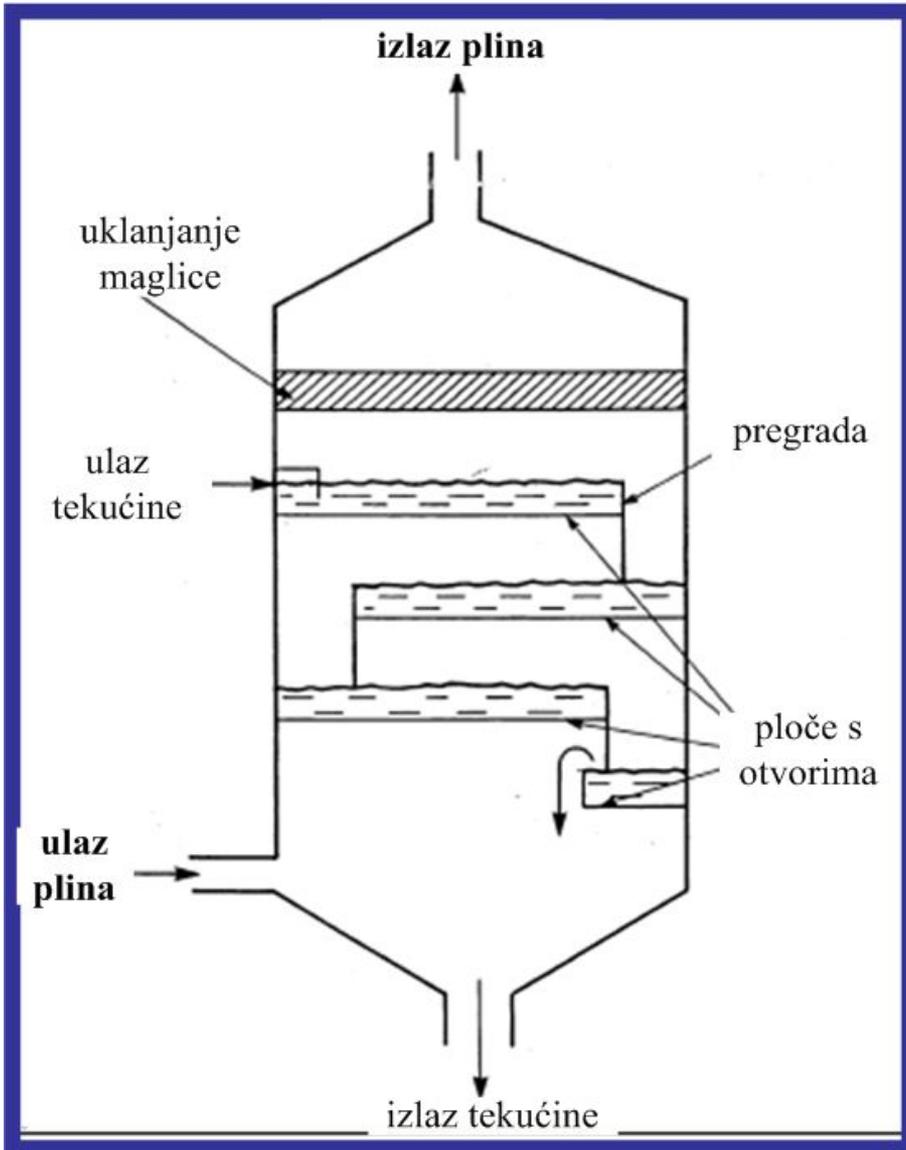
pad tlaka: 1000-2000 Pa

Skruberi s pregradama – stvaranje tankog sloja vode

Smjesa zraka i kapljevine udara u čvrstu površinu (prepreku ili pregradu):

- a) **pregrada prekrivena kapljevinom** (rad uz male brzine recirkulacije vode, ca. $0,07 \text{ l/m}^3$; učinkovitost: **90 %** za čestice $>2 \mu\text{m}$)
- b) **plitica s otvorima** koja sadrži sloj kapljevine i pjene, a zatim plin udara u ploču smještenu iznad plitice s otvorima; protok kapljevine: $0,26 - 0,4 \text{ l/m}^3$; učinkovitost: **97 %** za čestice veličine ca. $5 \mu\text{m}$)
- c) **na pliticama se nalazi sloj punila, npr. plastičnih kuglica** koje su djelomično fluidizirane, a abrazivno djelovanje olakšava čišćenje plitica

Skruberi s pregradama

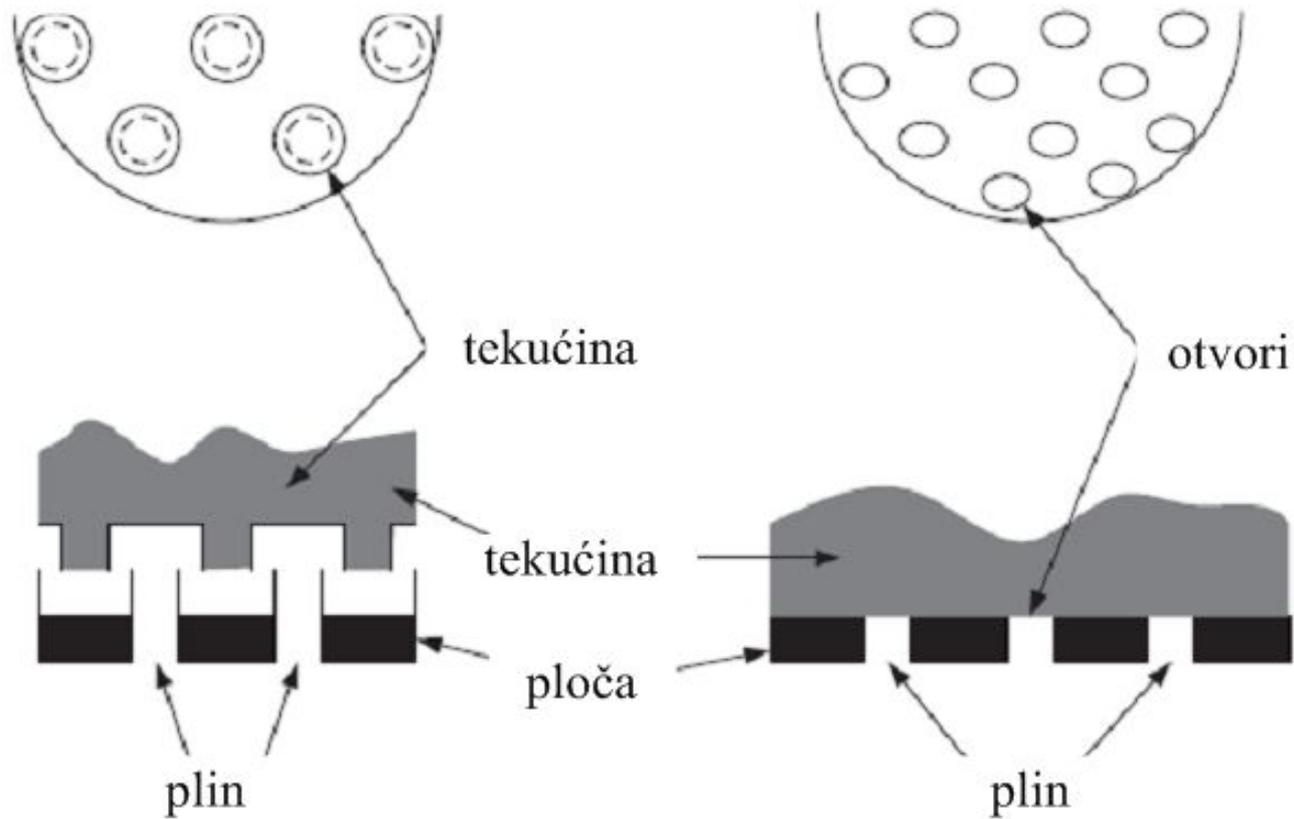


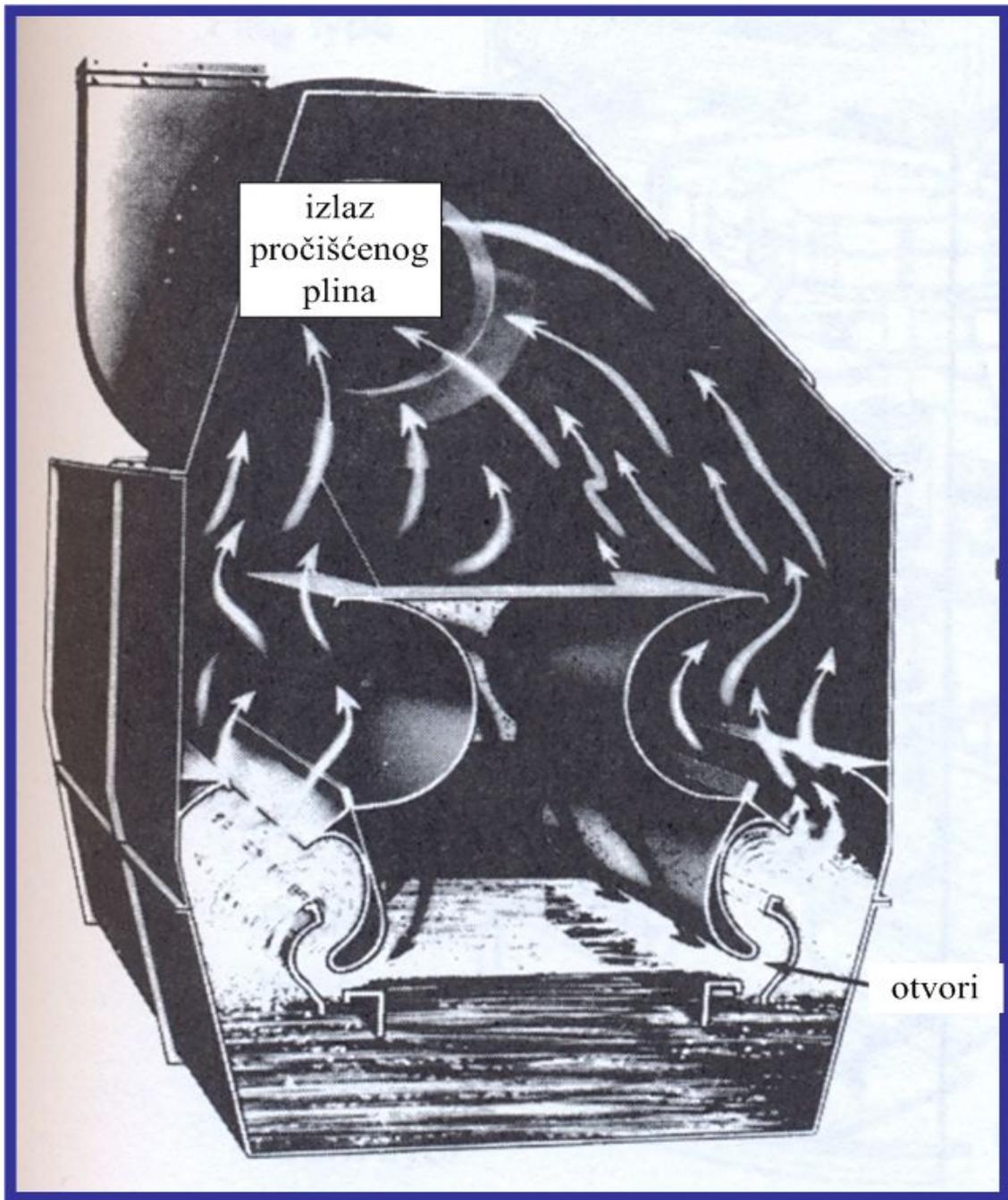
Ploče s otvorima: 5000 do 50 000 /m²

Značajke:

- uporaba za uklanjanje kiselina, SO₂, mirisa i sl.
- velika učinkovitost
- lakoća održavanja i čišćenja
- fleksibilnost rada (pri različitim protocima)

Različite izvedbe otvora na pregradama



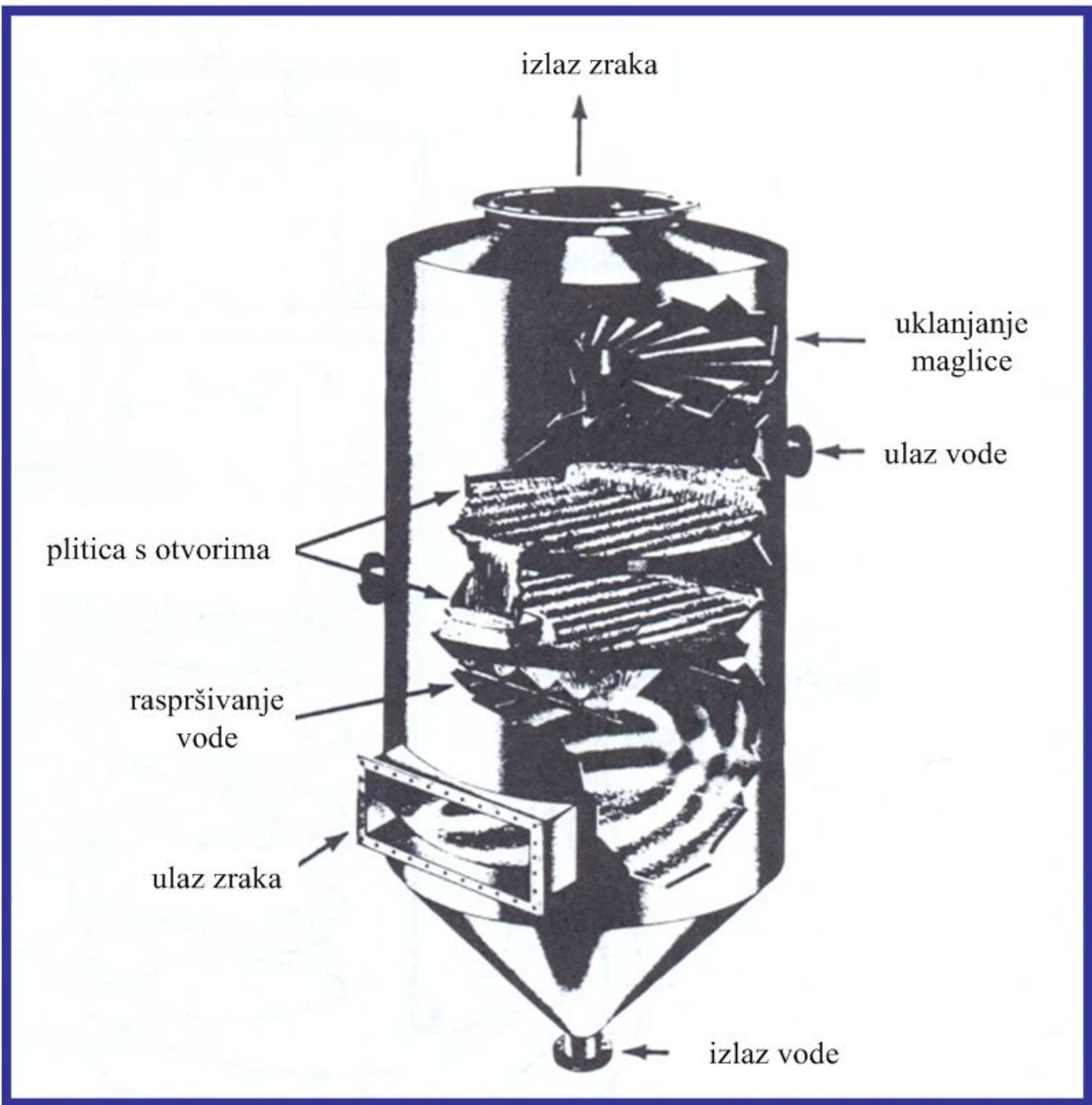


izlaz
pročišćenog
plina

otvori

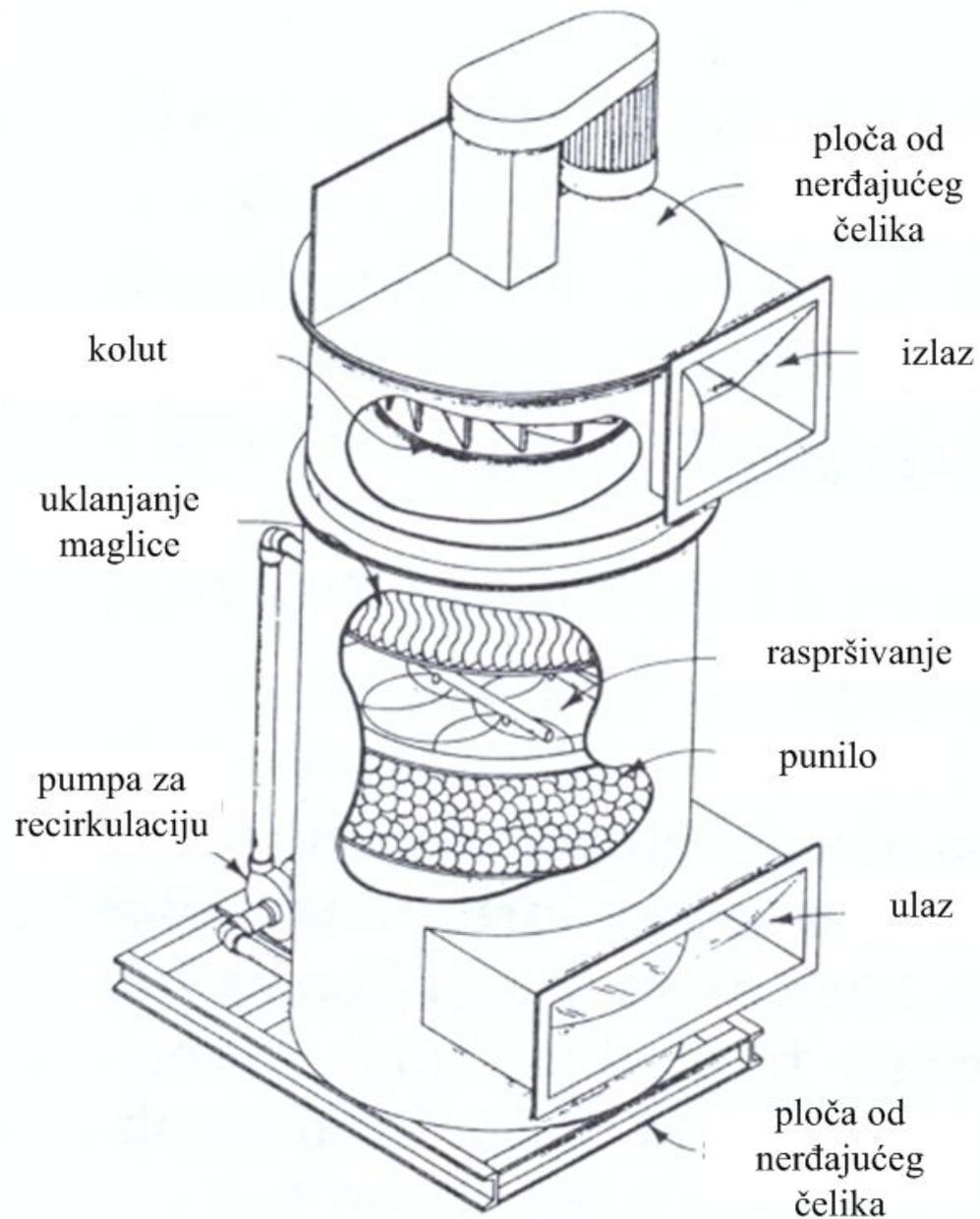
a)

pregrada prekrivena
kapljevnom



b)

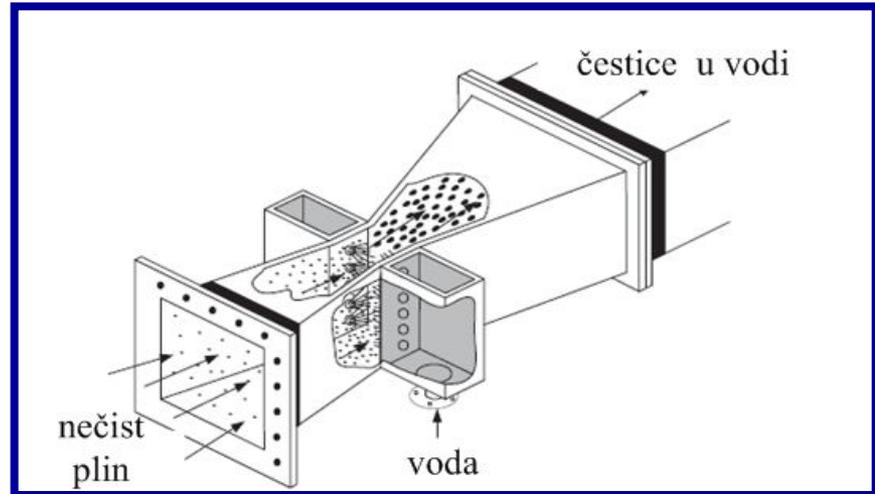
plitica s otvorima



c)

na pliticama se nalazi
punilo

Venturijev skruber



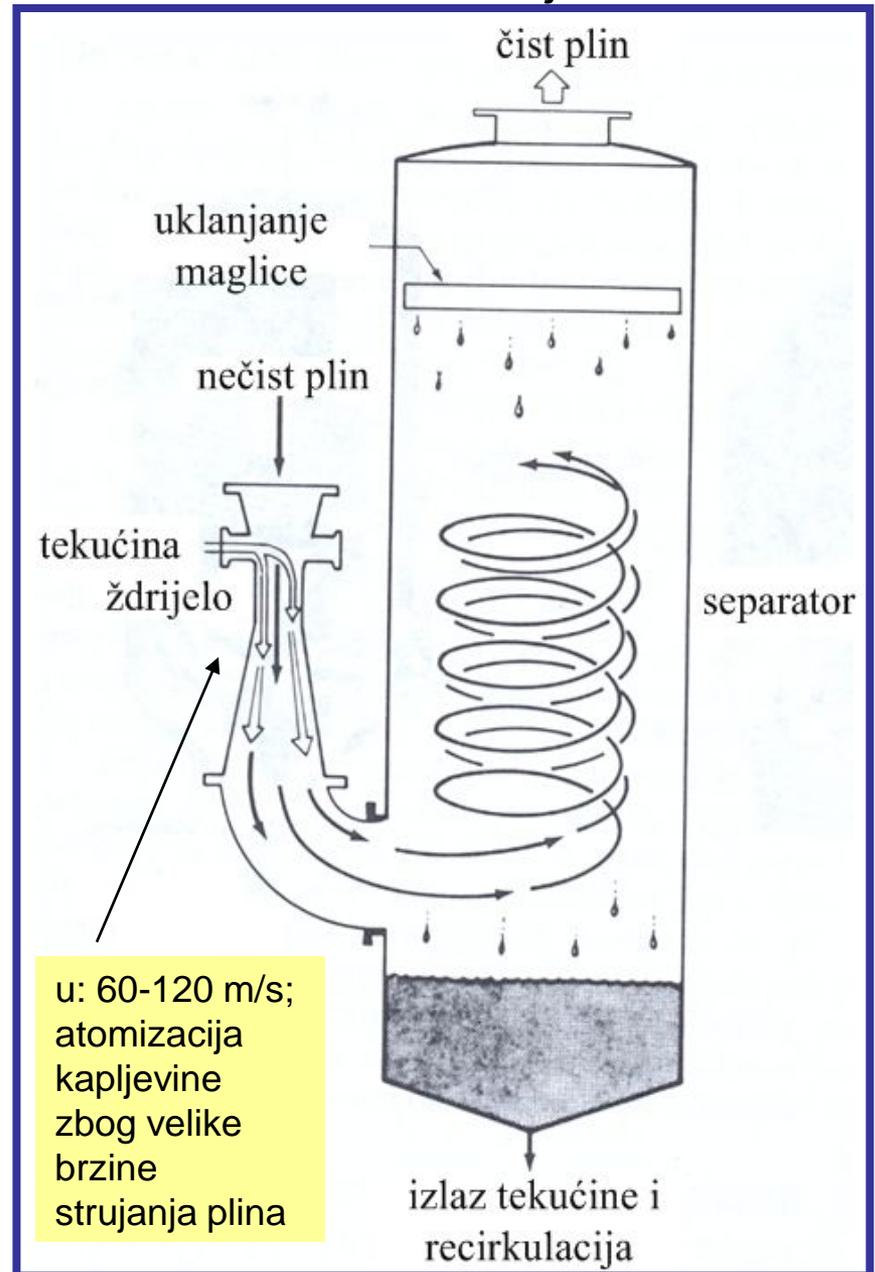
Značajke:

- najveća učinkovitost, čak i za uklanjanje vrlo malih čestica ($< 2 \mu\text{m}$)
- radni uvjeti: $Q_L/Q_G = 0,001-0,003$; $V_G = 60-120 \text{ m/s}$
- *istostrujni rad*
- ponekad su jedina mogućnost za pročišćavanje (npr. za uklanjanje ljepljivih, zapaljivih i korozivnih materijala)
- zbog mogućnosti rada pri velikim protocima zraka ($\sim 120 \text{ m/s}$) \Rightarrow *mogu biti malih dimenzija*
- velik Δp

Venturijev skruber s ciklonskim separatorom (za uklanjanje kapljica)

- raspršivanje kapljevine velikom brzinom strujanja plina u ždrijelu skrubera (zbog velikog suženja) \Rightarrow razbijanje/usitnjavanje kapi
- velike relativne brzine postižu se injektiranjem vode pod tlakom u ždrijelo (grlo) venturijeve cijevi kroz koju prolazi zrak brzinom 45-152 m/s
- učinkovitost:** $> 98\%$ za čestice $> 0,5\ \mu\text{m}$ (uz velik pad tlaka!)
- kapljice veličine 75-150 μm uspješno se uklanjaju pri ulaznim brzinama u ciklon od 25-40 m/s; pretpostavlja se da se kapljice vode ponašaju kao i krute čestice u ciklonu pa je moguće primijeniti iste izvedbene jednadžbe

uobičajeni ind. skruber



Izbor materijala za izradu Venturijevog skruberera zavisi o:

- temperaturi
- abraziji
- koroziji
- kemijskom djelovanju

Učinkovitost:

raste s brzinom strujanja (koja zavisi o promjeru venturijeve cijevi)
i s padom tlaka

Ostale moguće izvedbe skrubera:

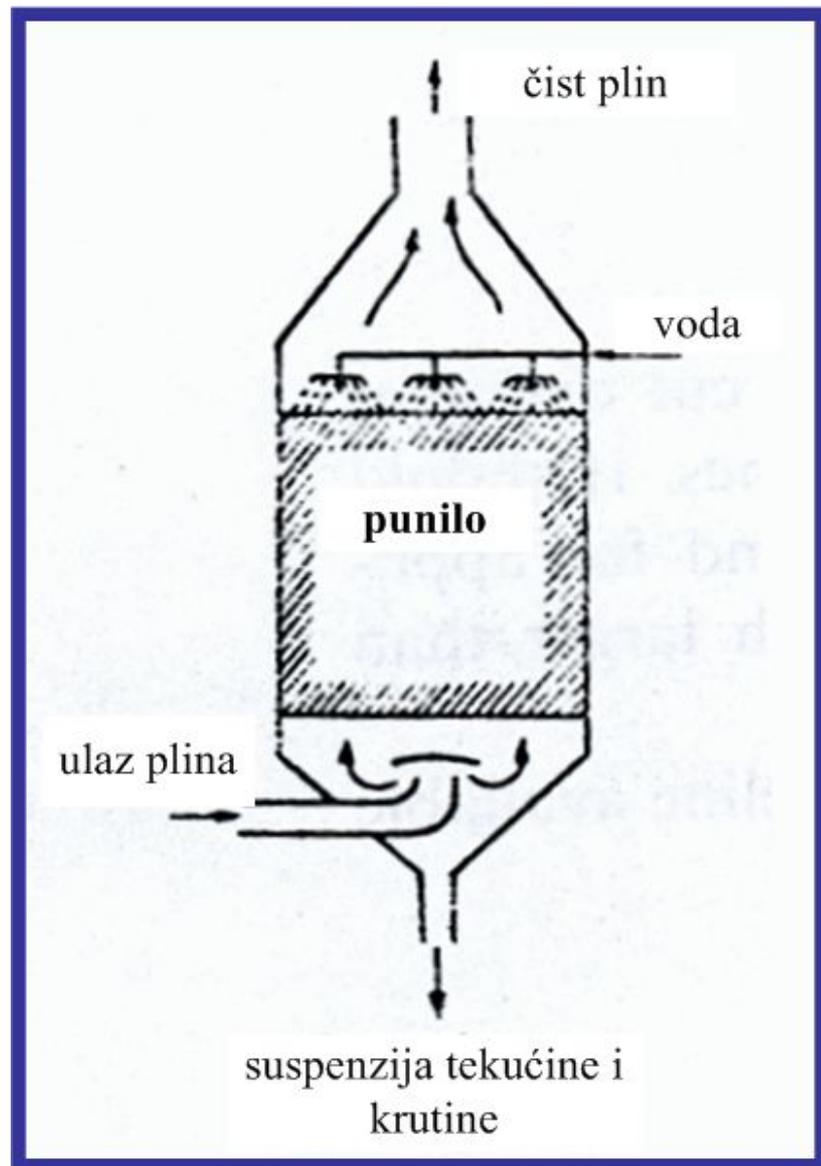
- **mehanički skruberi**
- **skruberi s punjenim slojem,**
- **skruberi s pokretnim slojem,**
- **Vorteks skruberi i dr.**

mehanički skruberi

- imaju motorom pogonjeno mješalo smješteno u zoni kontakta plina i kapljevine
- nedostatak: veliki troškovi održavanja

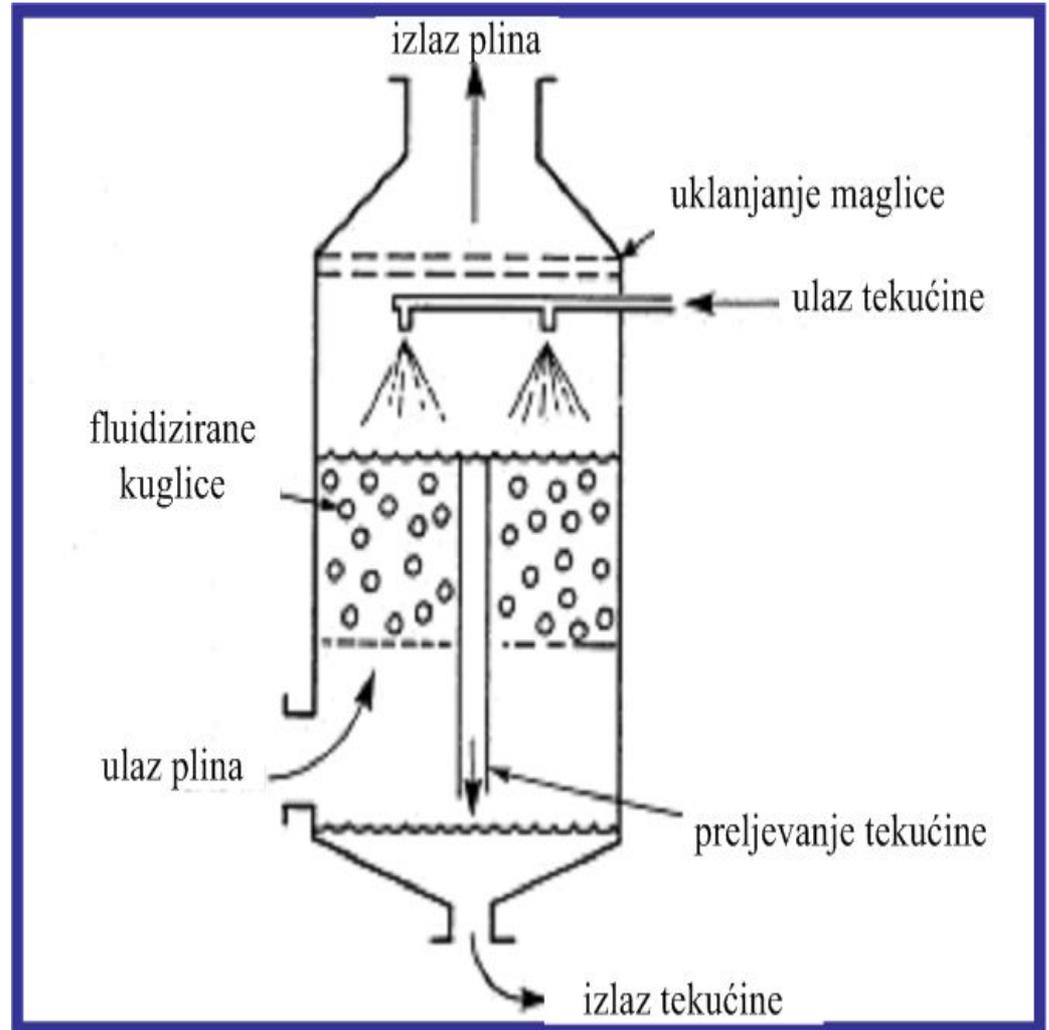
Skruber s punjenim slojem

- raspršivanje kapljevine u struju onečišćenog zraka postiže se pomoću sapnica
- protustrujni tok kapljevine i plina
- *kolona ispunjena punilom*
⇒ poboljšanje kontakta plina i kapljevine
- uz primjenu odgovarajućeg reagensa koriste se za apsorpciju H_2S , SO_2 , NH_3 , Cl_2 , VOC i dr.
- *može doći do začepjenja sloja*
⇒ ograničena primjena za uklanjanje čestica (samo ako je sadržaj čestica $< 0,5 \text{ g/m}^3$)



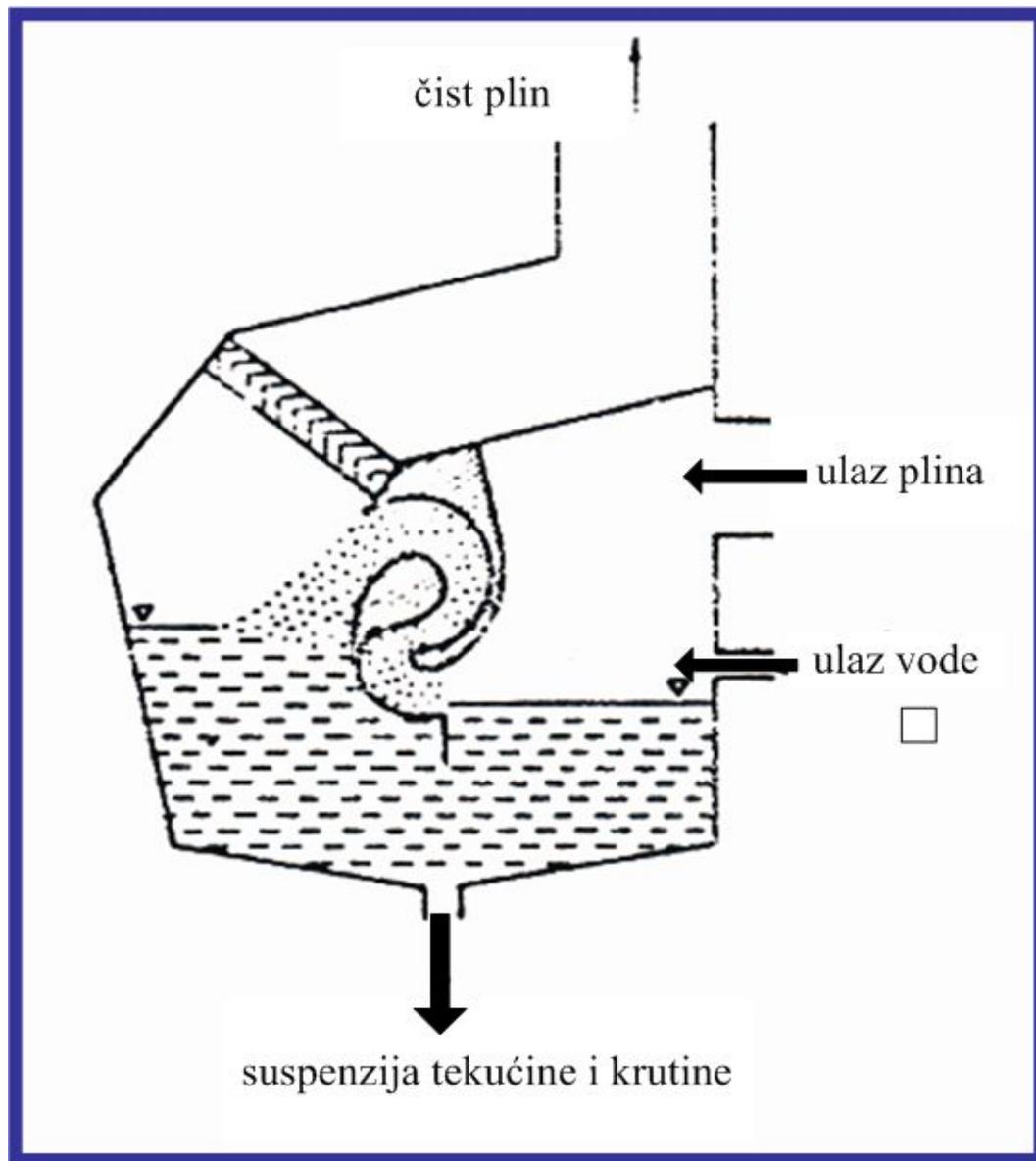
Skruber s pokretnim (fluidiziranim) slojem

- sastoji se od zone punila, obično plastičnih kuglica koje su fluidiziranim stanju
- primjenjuju se za uklanjanje para SO_2 , HF i dr.
- manja mogućnost pojave začepjenja



Vorteks skruber

- uvođenje onečišćenog plina i kapljica vode u vorteks kanal
- učinkovitost odvajanja ovisi o relativnoj brzini reakcije između kapljice vode i prašine



Proračun skrubera

Proračun se zasniva na određivanju *penetracije* za zadani promjer čestice

Penetracija - udjel čestica odgovarajućeg promjera koje zaostaju nakon procesa skrubiranja

$$Pt_d = 1 - \eta_d$$

Pt_d - penetracija (udjel čestica odgovarajućeg promjera)

η_d - frakcijska učinkovitost za čestice promjera d_p

Ukupna penetracija:

$$Pt_0 = \sum (Pt_d M_d)$$

M_d - maseni udjel čestica odgovarajućeg promjera

Skruber s raspršivanjem

Calvert (1977):

$$Pt_d = \exp\left(-\frac{3Q_L V_{td} z \eta_d}{4Q_G r_d (V_{td} - V_G)}\right) = \exp\left(-\frac{A_d V_{td} \eta_d}{Q_G}\right)$$

$$A_d = \frac{3Q_L z}{4r_d (V_{td} - V_G)}$$

$$\eta_d = \left(\frac{K_p}{K_p + 0.7}\right)^2$$

$$K_p = \frac{C \rho_p d_p^2 V_{pd}}{9 \mu_G d_d} = \frac{\rho_w d_a^2 V_{pd}}{9 \mu_G d_d}$$

Pt_d – penetracija za danu veličinu čestice (od 0 do 1)

Q_L – volumetrijski protok kapljevine, m^3/s

Q_G – volumetrijski protok plina, m^3/s

V_G – linearna brzina, cm/s

V_{td} – brzina taloženja kapi, cm/s

η_d - frakcijska učinkovitost za pojedinu kap (0-1)

r_d – radius kapi, cm

z – dužina kontaktne zone skrubera, cm

A_d – poprečna površina svih kapi u skruberu, cm^2

C - Cunninghamov faktor, bezdim.

ρ_p – gustoća čestica, g/cm^3

d_p – promjer čestice, cm

V_{pd} – brzina čestica (u odnosu na kapi), cm/s

d_d – promjer kapi, cm

μ_G – viskoznost plina, P

d_a – aerodinamički promjer čestice, cm

ρ_w – gustoća vode, g/cm^3

Skruber s raspršivanjem

- Langmuir i Blodgett (1946):

- *frakcijska učinkovitost za pojedinu kap* može se opisati **bezdimenzijskom grupom**:

$$\eta_d = \frac{kV_{pd}V_{tp}}{gd_d}$$

k – empirijska konstanta

V_{tp} – brzina taloženja čestica, cm/s

V_{pd} – brzina čestica (u odnosu na kapi), cm/s

g – gravitacijska konstanta, cm/s²

d_d – promjer kapi, cm

- *izraz pokazuje da smanjenjem veličine kapi raste učinkovitost; zapravo postoji optimalna veličina kapi, a učinkovitost ne raste smanjenjem veličine kapi ispod optimalne vrijednosti*

Venturijev skruber

Pt_d – penetracija za zadanu veličinu čestice

$$Pt_d = \exp\left(\frac{Q_L V_G \rho_L d_d}{55 Q_G \mu_G} \left(-0.7 - K_p f + 1.4 \ln\left(\frac{K_p f + 0.7}{0.7}\right) + \frac{0.49}{0.7 + K_p f}\right) \frac{1}{K_p}\right)$$

K_p - inercijski parametar privlačenja izračunat pomoću izraza za brzinu plina na ulazu u ždrijelo, bezdim. parametar

$$K_p = \frac{C \rho_p d_p^2 V_{pd}}{9 \mu_G d_d} = \frac{\rho_W d_a^2 V_{pd}}{9 \mu_G d_d}$$

f – empirijski faktor ($f=0.25$ za hidrofobne čestice; $f=0.5$ za hidrofilne čestice)

d_d – Sauterov srednji promjer kapi, μm (*Nukiyama-Tanasawa(1938)*)

$$d_d = \frac{58,000}{V_G} \left(\frac{\sigma}{\rho_L}\right)^{0.5} + 597 \left(\frac{\mu_L}{(\sigma \rho_L)^{0.5}}\right)^{0.45} \left(1000 \frac{Q_L}{Q_G}\right)^{1.5}$$

d_d – Sauterov srednji promjer kapi

ρ_L – gustoća kapljevine

σ – površ. napetost kaplj.

μ_L – viskoznost kaplj.

Pad tlaka u Venturijevim skruberima

- do pada tlaka dolazi uslijed naglog ubrzanja kapljica

Yung. et al. (1977)

$$\Delta P = 2\rho_L V_G^2 \left(\frac{Q_L}{Q_G} \right) (1 - X^2 + \sqrt{X^4 - X^2})$$

$$X = \frac{3l_t C_D \rho_G}{16d_d \rho_L} + 1$$

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{4}{Re^{1/3}}$$

ΔP – pad tlaka

V_G – brzina strujanja plina, cm/s

X – bezdimenzijska dužina ždrijela

l_t – dužina venturi ždrijela, cm

C_D – faktor otpora za kapi sa

Sauterovim srednjim promjerom, bezdimenz.

Re – Re značajka za kapljice, bezdimenz.

Lapple i Kamack (1955) – *učinkovitost skrubera može se dovesti u korelaciju s energijom potrebnom za ostvarenje stvarnog kontakta plin-kapljevina*

⇒ skruberi različite geometrije mogli bi osigurati sličnu učinkovitost ukoliko rade uz istu razinu energije kontaktiranja plin-kapljevina

Snaga kontaktiranja – energija raspršena po jedinici volumena plina koji se obrađuje

Broj jedinica prijenosa, N_t :

$$N_t = \alpha P_t^\beta$$

Semrau (1963, 1980)

N_t – broj jedinica prijenosa, bezdimenzijski

P_t – **snaga kontaktiranja, kWh/1000 m³**

α – koeficijent koji prevodi N_t u bezdimenzijski broj

β – bezdimenzijski eksponent

Ukupna učinkovitost, η_0 :

$$\eta_0 = 1 - \exp(-N_t)$$

Zaključno - prednosti procesa skrubiranja

- mogućnost rada s ljepljivim, eksplozivnim i zapaljivim plinskim smjesama bez većeg rizika
- apsorpcija plina i uklanjanje krutih čestica u jednom stupnju
- mogu se koristiti za uklanjanje mirisa
- moguća primjena za hlađenje vrućih plinova
- korozivni plinovi i čestice mogu se neutralizirati
- velika učinkovitost za izdvajanje vrlo finih čestica
- moguće nastajanje korisnih međuprodukata (kemikalije, mineralna gnojiva i sl.)

Zaključno – nedostaci procesa skrubiranja

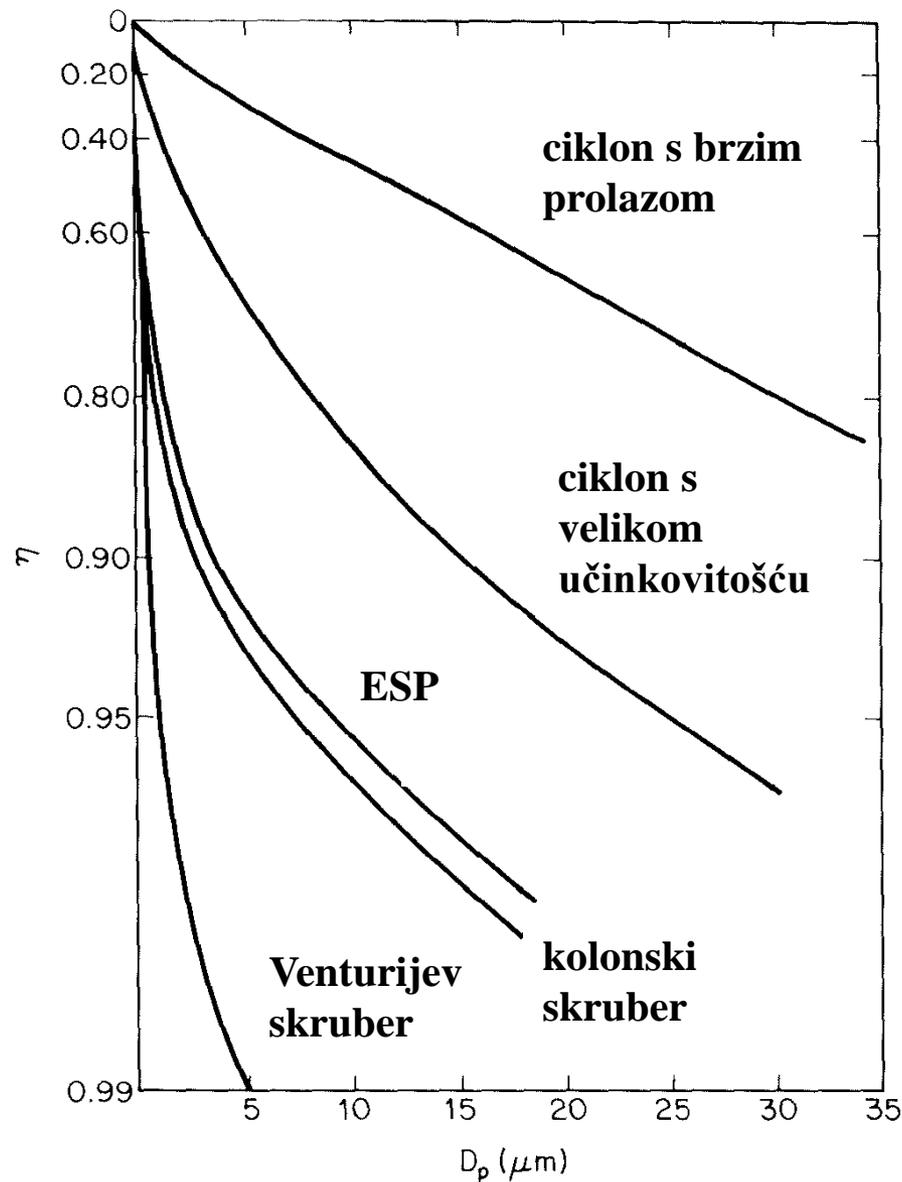
- problemi vezani uz koroziju i smrzavanje
- velike količine otpadnih voda; problemi vezani uz obradu otpadnih voda i taloga
- izdvojeni materijali su u vlažnom stanju; skupo odlaganje otpadnog mulja
- skupo održavanje ako se radi s korozivnim materijalima
- mogućnost velikog pada tlaka i velike potrošnje energije
- opasnost od stvrdnjavanja krutih čestica u kontaktu s vodom

Usporedba različitih izvedbi skruber

Skruber	tip skruber	br. stupnjeva	pad tlaka po stupnju, Pa	omjer kapljevina/plin (l/m ³)
Skruber s raspršivanjem	- standardni tip - ciklonski skruber	1	800-1100 1000-2000	1,3-1,7 0,7-1,3
Skruber s punjenim slojem	- nepokretan sloj - pokretan sloj - poprečan tok - sloj s vlaknima	1 3-5 4	1300-1600 800-1300 ca. 2500 50-800	1,3-2,0 2,0-8,0 ca. 2,5
Skruber s pliticama	- ploče s otvorima - ploče s pregradama		ca. 400 250-2000	0,4-0,7
Mehanički skruber	- mokri ventilatori	1	1000-2000	
Venturijev skruber i skruber s otvorima	- standardni venturi skruber - izmijenjeni venturi - skruber s otvorima	1 1 1	1000-18000 800-400	0,8-2,0

Učinkovitost različnih sustava za otprašivanje s obzirom na veličinu čestica

Uređaj	Učinkovitost			
	< 1 μm	1-3 μm	3-10 μm	> 10 μm
Elektrostatski taložnik, ESP	96,5	98,25	99,1	99,5
Vrećasti filter	100	99,75	>99,95	>99,95
Venturijev skuber	> 70	99,5	>99,8	>99,98
Multiciklon	11	54	85	95



**Usporedba učinkovitosti
različitih uređaja
za uklanjanje krutih čestica
iz otpadnih plinova s obzirom
na veličinu čestica 5-30 μm**

Izbor postupka za otprašivanje zavisno o veličini čestica i njihovim značajkama

