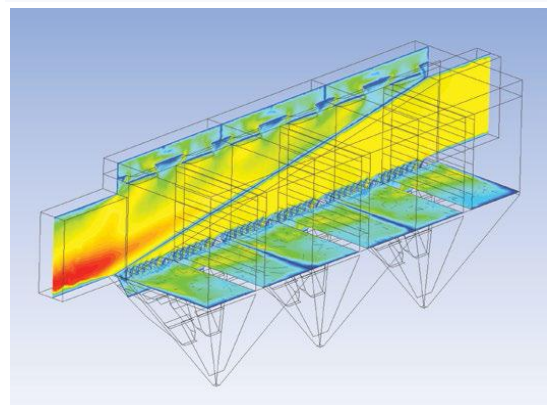
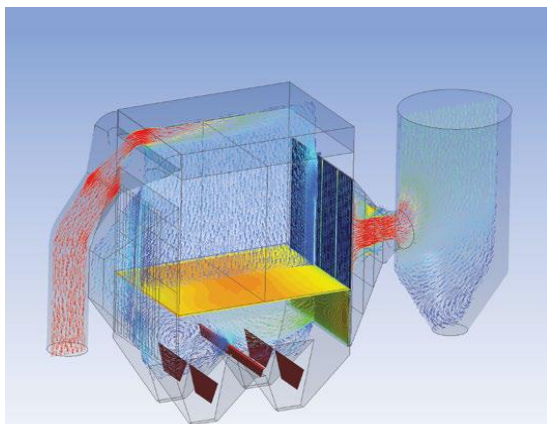




VREĆASTI FILTERI ZA PREČIŠĆAVANJE VAZDUHA U INDUSTRIJI



Predmetni profesor: Dr Željko Despotović, dipl.el.inž

UVOD

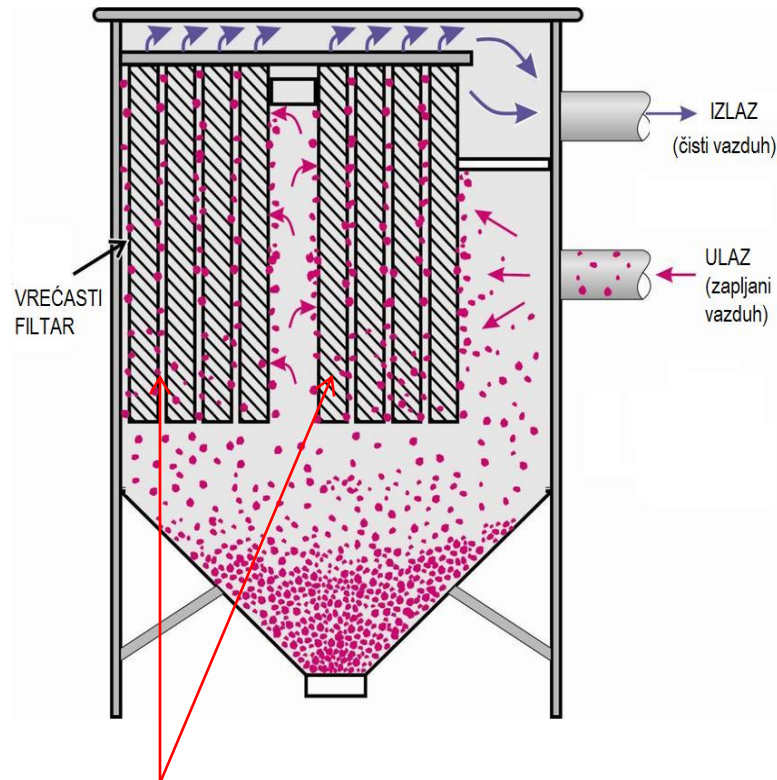
- Vrećasti filteri pripadaju klasi izdvajača koji se danas najviše upotrebljavaju za prečišćavanje dimnih gasova i izdvajanje prašine u mnogim tehnološkim procesima rudarske, metalurške, cementne, drvne, papirne, azbestne industrije, ali i veoma često u termoenergetskim postrojenjima (termoelektranama i toplanama).
- Koriste se kada je neophodna visoka efikasnost izdvajanja i odstranjivanja čestica čije veličine idu od submikronskih , pa do nekoliko stotina mikrona u prečniku.
- Efikasnost ovih filtera je veoma visoka (do 99,99%).
- Uobičajeni opseg temperatura pri kojima se vrećasti filteri koriste je do 260°C i za tipične vrednosti padova pritiska 1200 ÷ 5000 Pa .
- Vrećasti filteri se koriste za sakupljanje čestica koje imaju suviše preveliki specifični otpor sakupljanja elektrostatičkim filterima (elektrostatičkim izdvajačima).
- Vrećasti filteri su specijalno dobro rešenje za sakupljanje letećih čestica iz niskosumpornog uglja ili čestica koje imaju u sebi dosta nesagorelog uglja.

POREĐENJE SA ELEKTROSTATIČKIM FILTRIMA

- Prednosti korišćenja elektrostatičkih filtera kao izdvajača su relativno mala potrošnja električne energije, relativno dobra upravljivost, mali aerodinamički otpor (100 do 150 Pa)
- Glavni nedostaci elektrostatičkih filtera:
 - glomaznost
 - visoka cena (do 7 % od ukupne vrednosti opreme termo-bloka)
 - smanjenje stepena izdvajanja čestica pepela usled neadekvatnog i neusklađenog otresanja taložnih elektroda
 - smanjenje stepena izdvajanja usled neravnomerne raspodele dimnih gasova
- Cena novog elektrostatičkog izdvajača (filtra) efikasnosti oko 99% se kreće od 35-50Eur/kW instalisane snage
- Ukupni troškovi eksploatacije i održavanja iznose između 0.2 i 0.4 *Eur centa/kWh*.
- Za zamenu postojećih postrojenja sa elektrostatičkim filterima istih dimenzija potrebno je 2 do 6 nedelja, a ako postoji zahtev za povećanje dimenzija potrebno je i 2 do 3 meseca.
- Za uslovno veća postrojenja i za potrebnu efikasnost ispod 99.5 % konkurentniji su elektrostatički filtri, dok su za manja postrojenja i potrebnu efikasnost iznad 99,5 % isplativiji su vrećasti filteri (posebno za ugljeve sa niskim procentom sumpora).
- Orjentacioni troškovi za vrećaste filtere iznose 42 i 60 *EUR/kW*, dok troškovi pogona i održavanja iznose 0.3 do 0.4 *Eur centa /kWh*.

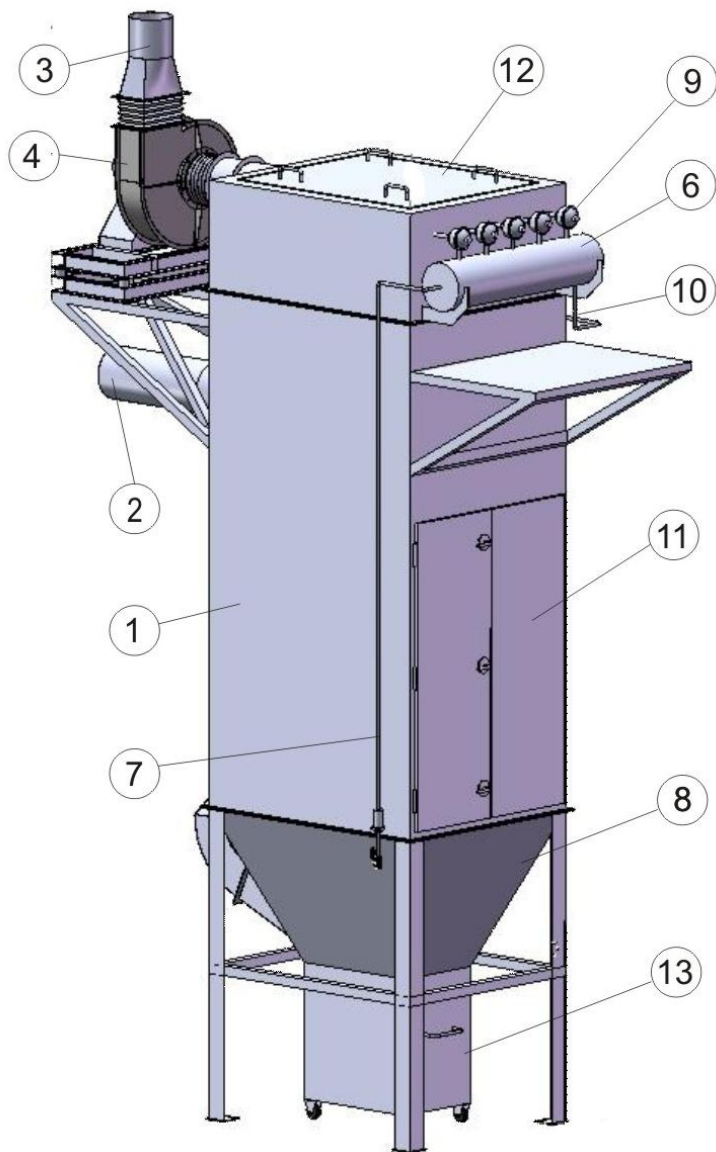
PRINCIP RADA VREĆASTIH FILTERA

- Zaprášena struja gasa ulazi kroz donji otvor (pri dnu kućišta filtera), gde udara u zaštitnu ploču, pri čemu veći deo zaprašenog gasa pada u bunker.
- Usled delovanja centrifugalne sile, a donekle i težine, izvodi se odvajanje grubih čestica praha koje ulaze u filtersku komoru.
- Proces se nastavlja prolaskom gasa kroz filter vreće (od tkanog ili filcanog pamuka ili sintetičkih materijala ili vlakana u obliku cevi), čime se na površini vreće formira stabilan sloj praha i obavlja se proces filtracije gasa.
- Sakupljena prašina na filter vrećama se regeneracijom odvodi u sabirni bunker.
- Očišćen gas struji kroz venturi diznu, zatim na vrhu kućišta filtera prolazi kroz izlazni kanal, i preko ventilatora u atmosferu.
- Na vrhu izlazne komore filtera nalaze se reviziona vrata za vršenje montaže, demontaže i radi vizuelne inspekcije filter vreća.



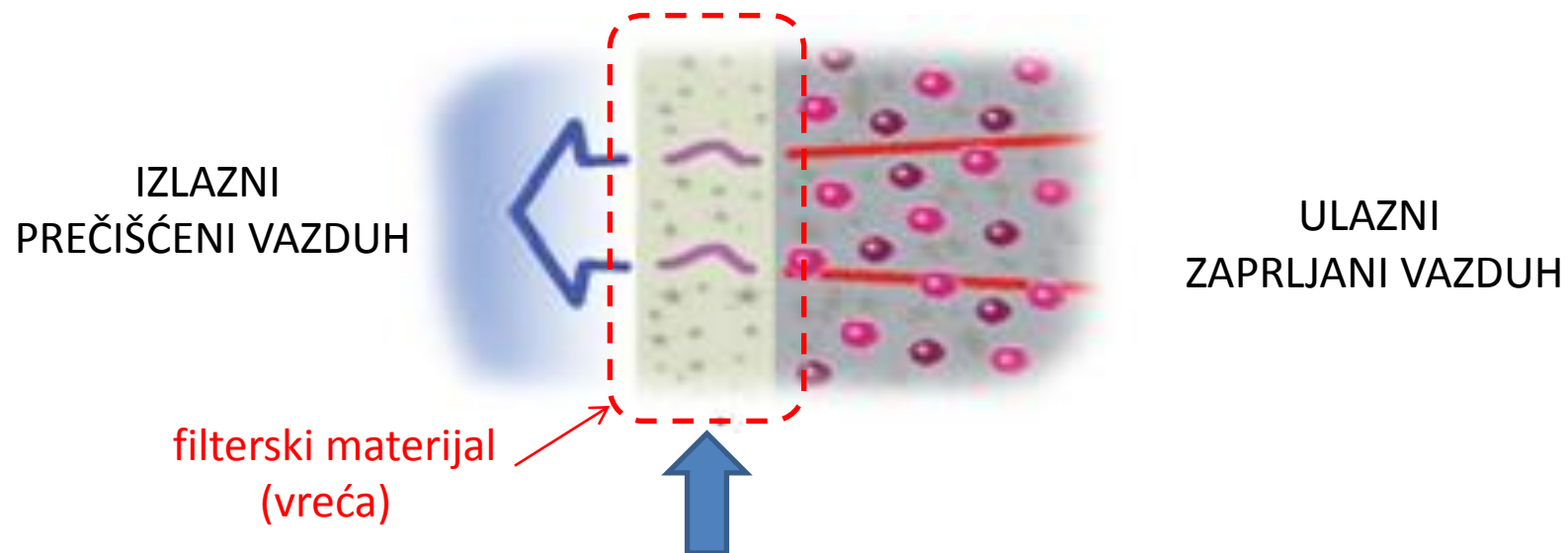
Izgled filtarskih vreća

KOMERCIJALNI VREĆASTI FILTAR-Domaće proizvodnje POTEX



Zaprljan vazduh se dovodi u filtersku jedinicu (1), tačnije na ulazni otvor (2). U filterskoj jedinici se vrši filtriranje pomoću **filterskih vreća** (videti prethodni slajd) koje se čiste produvavanjem komprimovanim vazduhom, odnosno preko razdelnika (6) i grupe za pripremu vazduha (7). Ispust kondenzata (10) se nalazi takođe u sklopu ove grupe komprimovanog vazduha. Interval i učestanost otvaranja elektromagnetnih ventila (9) za komprimovani vazduh regulišu se programabilnom logičkom jedinicom, odnosno PLC kontrolerom, koji se najčešće smešta u upravljački razvodni orman. Izdvojena prašina se skuplja u bunkeru (8) i nakon toga u prihvatnom kontejneru (13). Čist vazduh se izvlači posredstvom centrifugalnog ventilatora (4), na gornjoj strani tj. odvodu (3) filterske jedinice. Centrifugalni ventilator se montira iza filtera kako bi filter bio u podpritsku i na taj način se omogućava efiksano izduvavanje prečišćenog vazduha.

PRINCIP FILTRACIJE VREĆASTIM FILTEROM

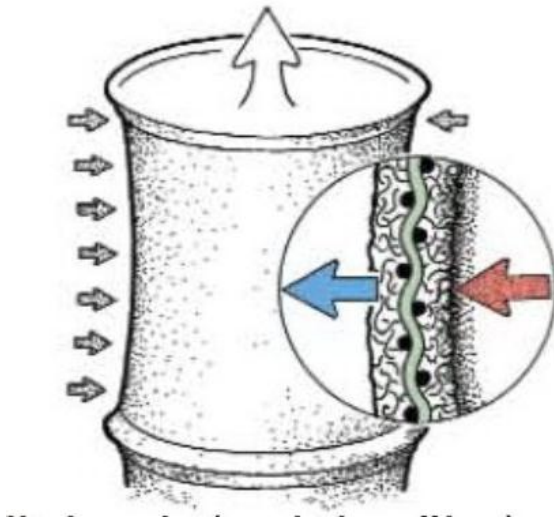


Poprečni presek
čistog filtera

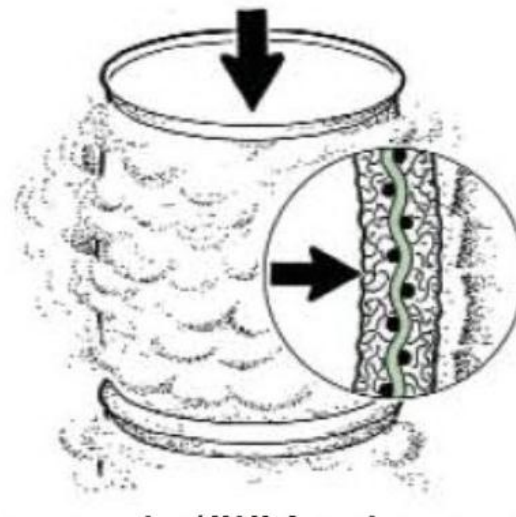


Poprečni presek
zaprljanog filtera

SASTAV I ČIŠĆENJE FILTERSKIH VREĆA

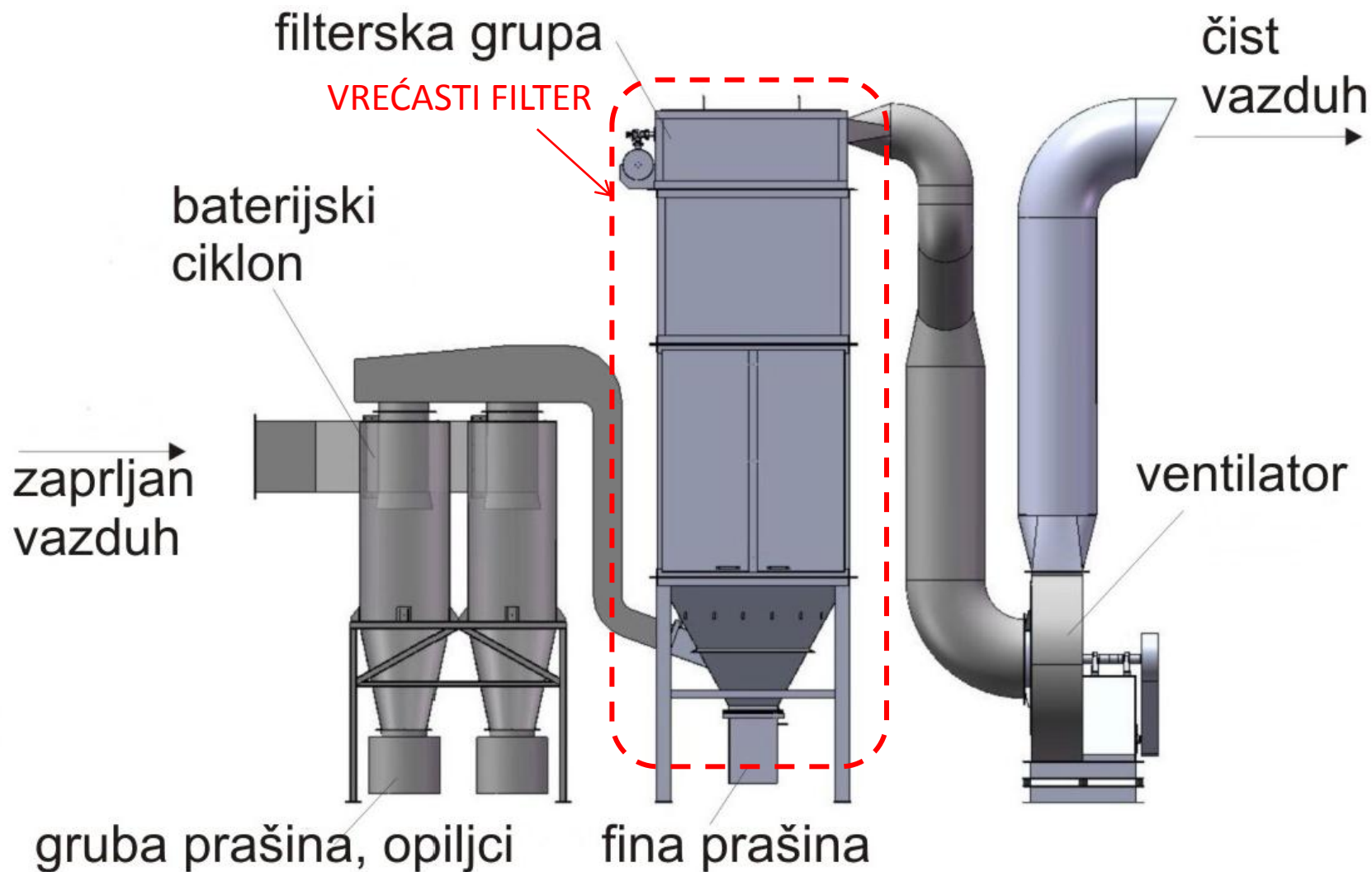


filtriranje (radni režim)



otresanje (čišćenje vreća)

- Filterske vreće se izrađuju od specijalnih materijala koji zadovoljavaju uslove za efikasno filtriranje prašine.
- U vrećama su opšiveni metalni prstenovi čime se postiže njihov cilindrični oblik.
- Prilikom rada na površini vreća se skuplja prašina koja je izdvojena iz struje zaprljanog vazduha.
- U intervalima koji se podešavaju preko PLC jedinice otvaraju se elektromagnetni ventili kroz vreće se u suprotnom smeru (slika desno) propušta komprimovani vazduh (pritiska približno 6-8bar).
- Na ovaj način se otresa nakupljena prašina sa površine vreća i dalje odvodi u sabirni kontejner.



Tipična primena vrećastog filtera u kombinaciji sa multi-ciklonskom baterijom (predodvajač) za prečišćavanje vazduha u industriji. Multiciklon služi za grubo odvajanje prašine, opiljaka, krupnih čestica i sl.

**IZLAZ
PREČIŠĆENOG
VAZDUHA**

**VREĆASTI
FILTERI**

VENTILATOR

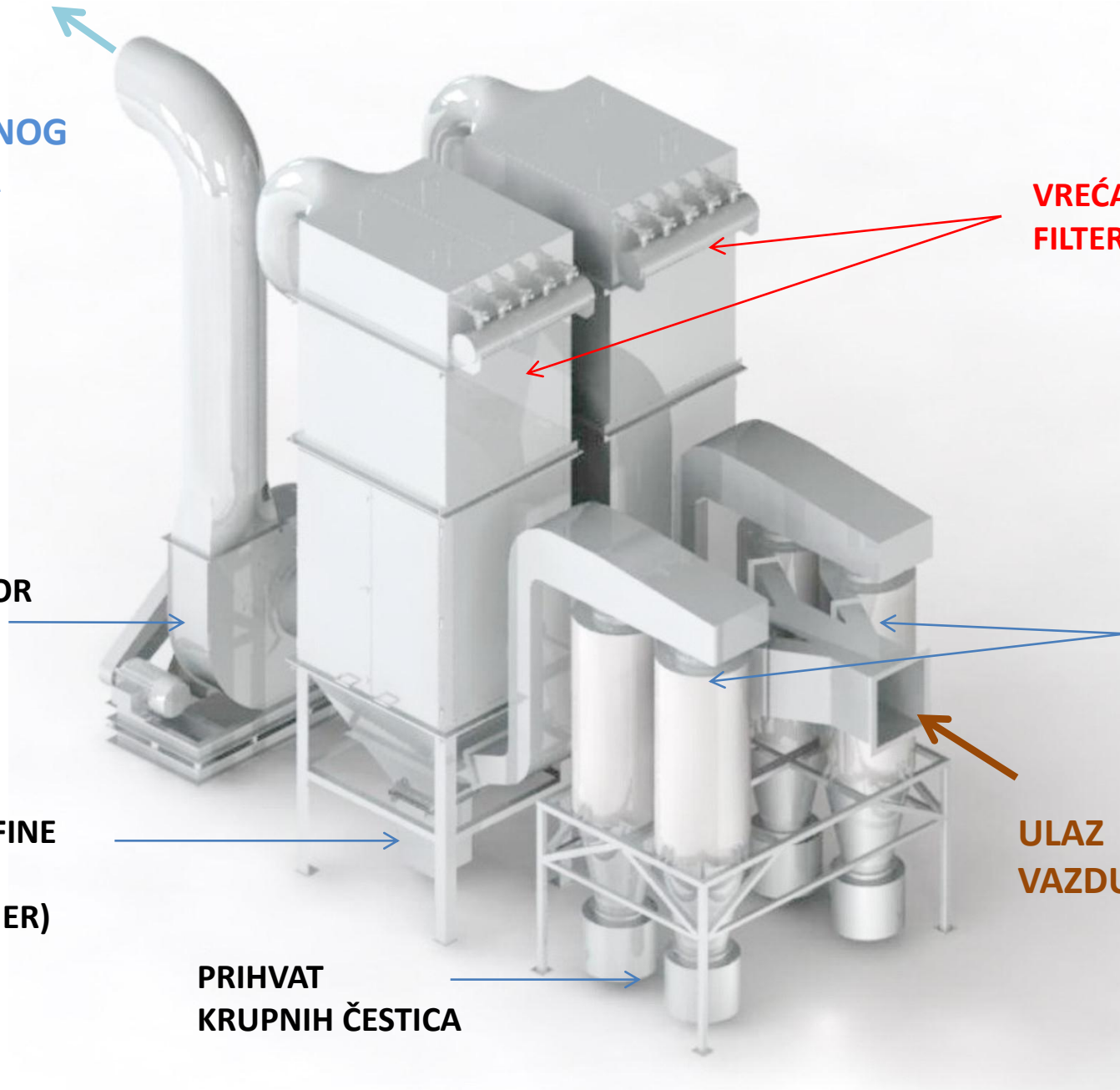
**MULTI-CIKLON
BATERIJA**

**PRIHVAT FINE
PRAŠINE
(KONTEJNER)**

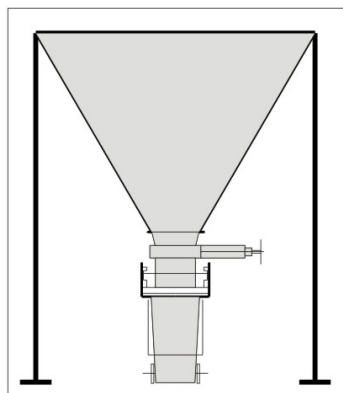
**ULAZ ZAPLJANOG
VAZDUHA**

**PRIHVAT
KRUPNIH ČESTICA**

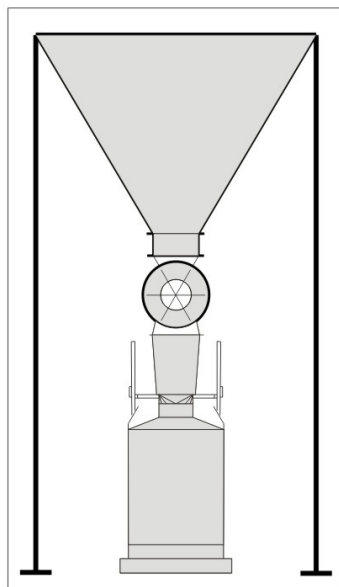
3D prikaz postrojenja sa vrećastim filterima (sa prethodnog slajda)



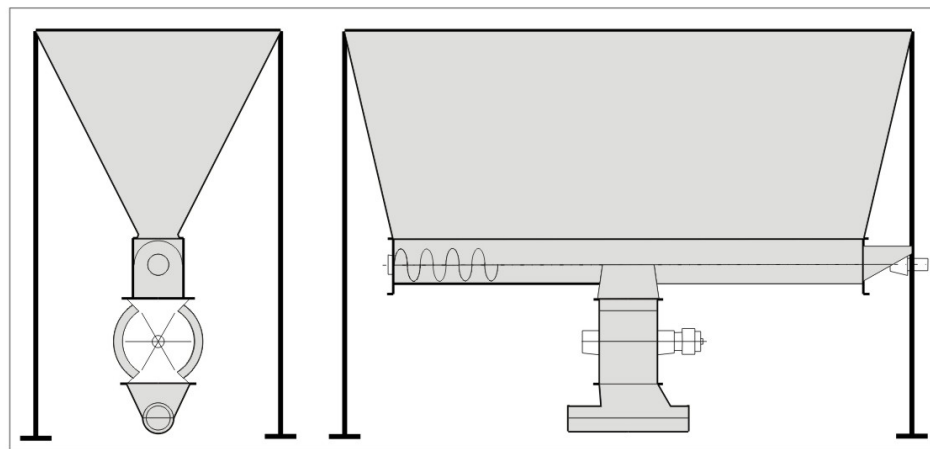
ODVOĐENJE SAKUPLJENE PRAŠINE U VREĆASTOM FILTERU



- šiber zatvarač
- sabirna kolica



- zvezdasti (sektorski) dozator
- sabirna vreća



- pužasti transporter
- zvezdasti (sektorski) dozator
- pneumatski transport

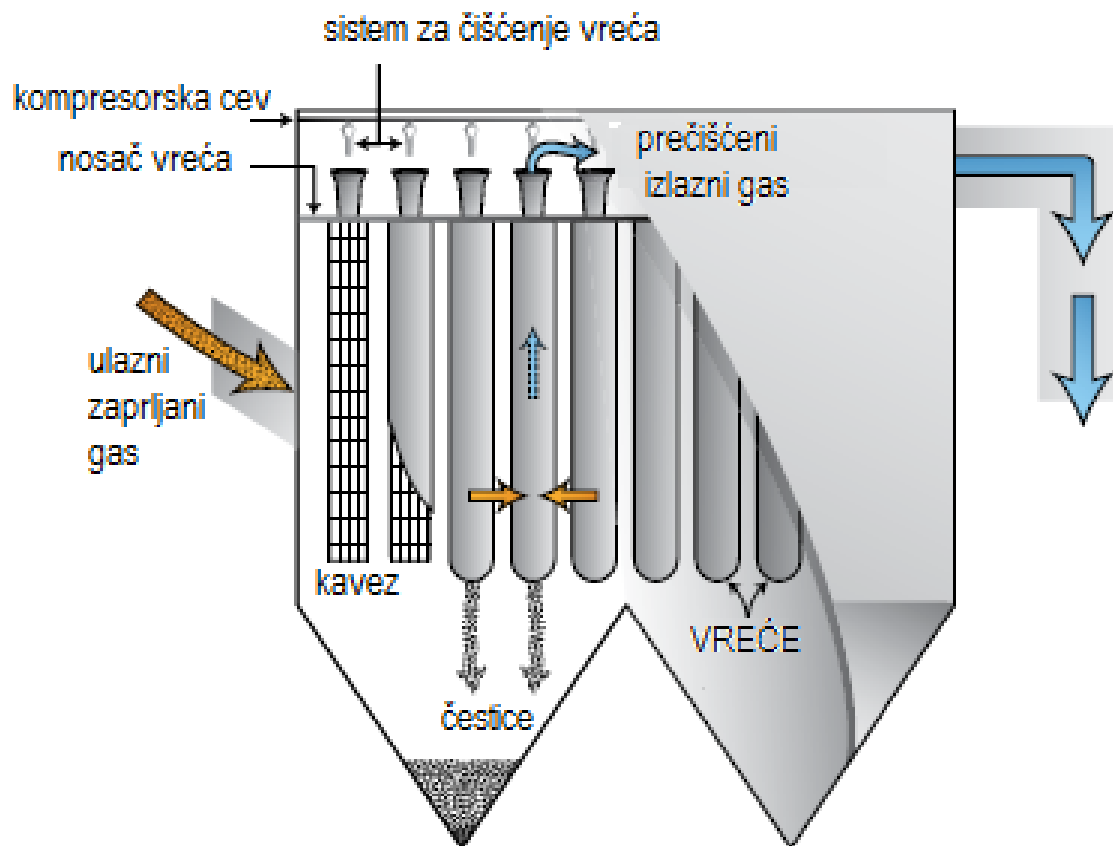
Efikasnost vrećastih filtera se značajno povećava korišćenjem multiciklonskog predodvajača prašine. Na ovaj način se može postići stepen izdvajanja i do 99.9%, sa izlaznim koncentracijama od 5-20mg/m³!!!!

Prednosti vrećastog filtera sa impulsnim otresanjem

- nema pokretnih delova
- filtracija traje neprekidno, pri konstantnoj vrednosti otpora i protoka gasa
- mogućnost upotrebe kod svih sistema otprašivanja gde se odvaja suvi i nelepljiv prah
- univerzalna primena
- malo filtersko opterećenje
- velika filterska površina
- minimalni gabariti
- visok kvalitet filterskih vreća
- automatsko upravljanje postrojenjem



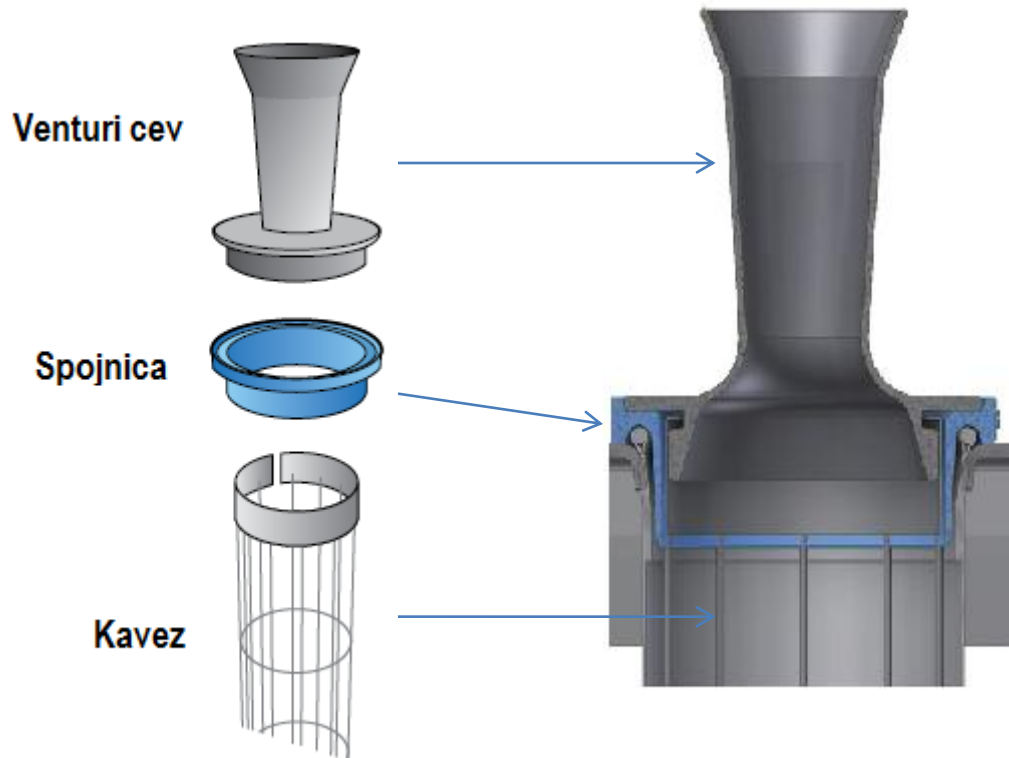
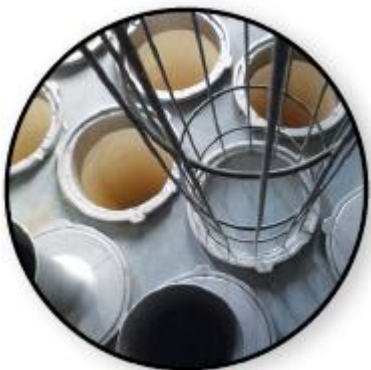
PRINCIP IZVEDBE VREĆASTOG FILTERA FIRME -REDECAM



Ovaj model ima pregrade postavljene u parovima sa obe strane velikog centralnog kanala. Centralni kanal sadrži odvojene kanale za ulazni (prljavi) i izlazni (čisti) gas.

Pregrade (cevi i perforirane ploče) su specijalno dizajnirane za svaku aplikaciju i projekat, kako bi se osigurala idealna propusnost, i kako bi se postigla ujednačena brzina gasa kroz svaki par odeljaka.

DETALJ NOSAČA VREĆA I KAVEZA



Simple Pressure System

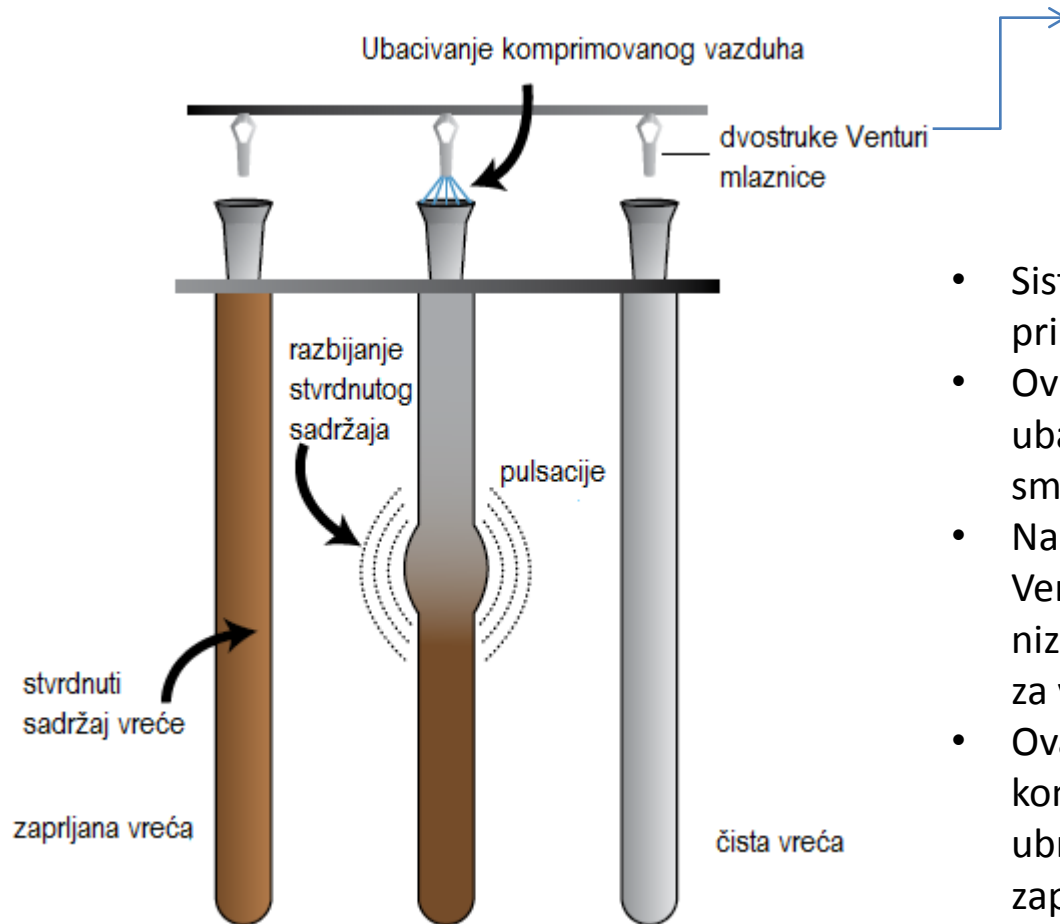
SPS- REDECAM patent

Ovaj sistem obezbeđuje jednostavno kačenje i montažu, kao i čvrstu vezu između prašnjave i čiste strane

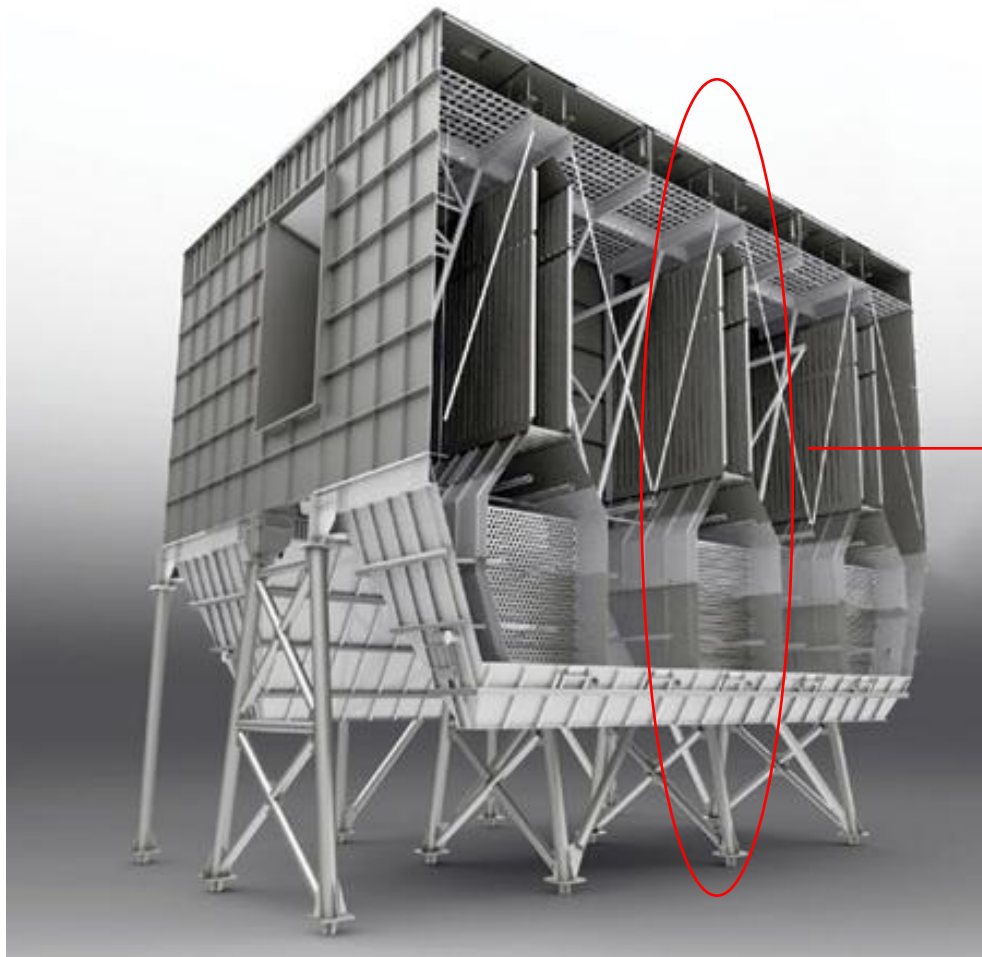


- Instalacija i uklanjanje vreća je jednostavno i brzo
- Nema rizika da vreće padnu tokom instalacije ili održavanja
- Vreće ne mogu da padnu u rezervoar zahvaljujući spojnom prstenu (spojnici) koji je smešten unutra (između cevi i kaveza)

DETALJ SISTEMA ZA ČIŠĆENJE VREĆA



- Sistem za čišćenje vreća je baziran na principu dvostrukih mlaznica (Bi-Jet System)
- Ovim se povećava količina vazduha koji se ubacuje u ulaz u vreću a istovremeno se smanjuje potrošnja komprimovanog vazduha.
- Na koji način? Ustvari, koristi se dvostruki Venturi sistem: jedna cev je smeštena nizvodno od mlaznice, a druga, iznad otvora za vreću.
- Ovaj sistem minimizira raspršivanje komprimovanog vazduha tokom faze ubrizgavanja, povećavajući na taj način zapreminu vazduha koja se ubacuje u vreću.
- Kao posledica prethodnog, smanjuje se količina vazduha potrebna za vibriranje (pulsiranje) vreće
- Takođe postiže se veća brzina protoka nego u sistemima opremljenim sa jednom Venturi cevi

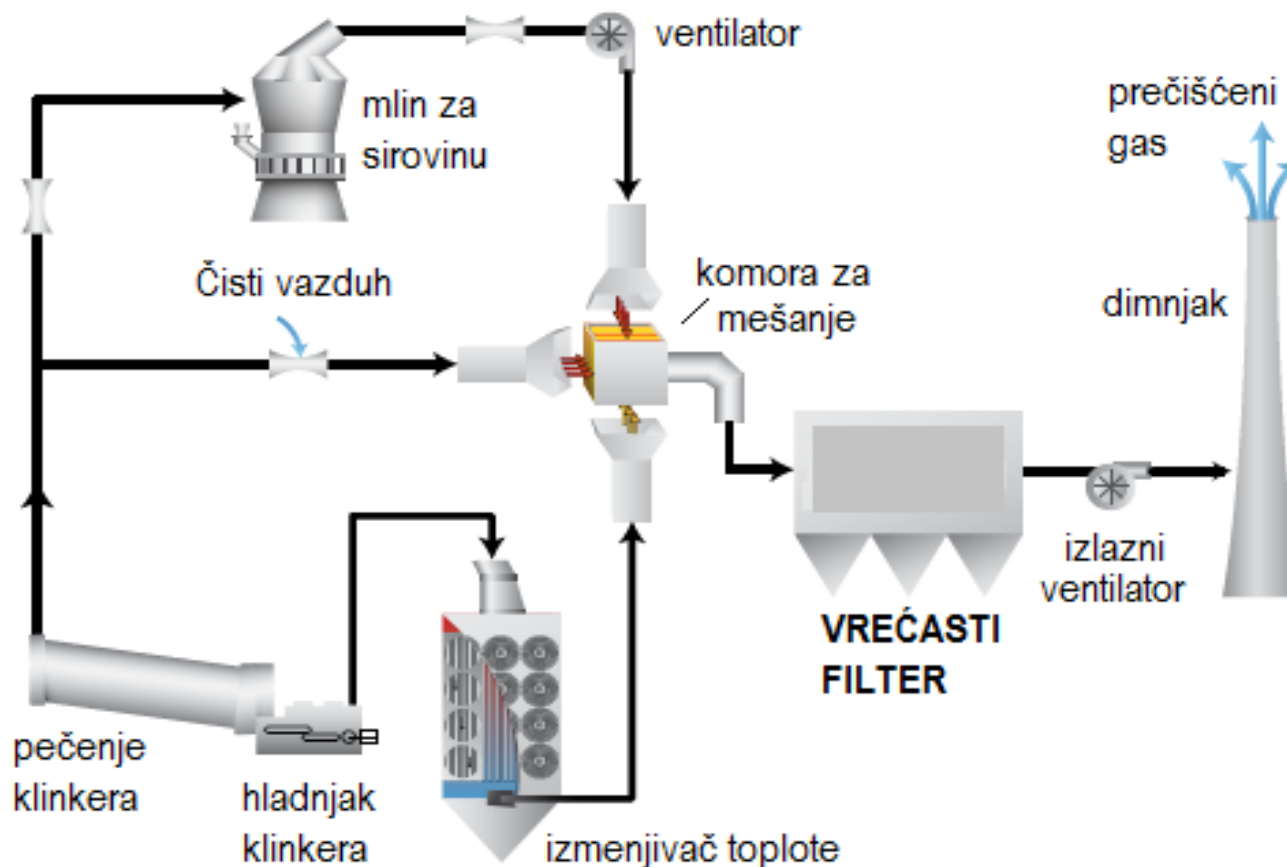


Distribucioni separator (sito)

DPM-Model vrećastog filtera sa prihvatnim komorama i distribucionim separatorima, proizvodnje

REDECAM: podesan za velike vrednosti protoka zaprašenog gasa (iznad 1.5 milona m^3/h) i za aplikacije sa velikim ulaznim koncentracijama prašine (do $1000 \text{ g}/\text{m}^3$). Tipična primena u cementnoj industriji, koja podrazumeva dva ventilatora, termičku obradu cementnih klinkera, mlinove i separatore. U takvim slučajevima postoji potreba za efikasnim pred-odvajanjem prašine (distribucioni separator) kako bi se smanjilo opterećenje prašine u vrećama.

PRIMENA 1 : PROIZVODNJA CEMENTA



U komori za mešanje se sakupljaju zaprljani vazduh i sitne čestice iz mlina sirovine i izmenjivača toplote (hladnjak klinkera) zajedno sa čistim vazduhom. Nus produkt (zaprljena smeša čestica) se uvodi u vrećasti filter. Nakon filtracije, preko izlaznog ventilatora i dimnjaka, u atmosferu se ispušta prečišćeni vazduh (nivo GVE je 10-20mg/m³ ili čak i manje).

PITANJE: KLINKER?

PRIČA O „KLINKERIMA“-Bitan polufabrikat u proizvodnji cementa

Proizvodnja *portland* cementa je složen tehnološki proces koji se sastoji iz dva osnovna koraka:

- (1) U prvom se toplotnom obradom ulazne sirovine bitno menjaju stvarajući cementni klinker (kugle određene veličine).
- (2) U drugom, mlevenjem klinkera sa gipsom nastaje konačni proizvod – cement.

Opšta tehnološka šema proizvodnje portland cementa, koja uključuje i postupke sa sirovinama i gotovim proizvodom, sastoji se iz sledećih osam faza:

- (1) eksploatacija cementnih sirovina
- (2) priprema sirovina (usitnjavanje i mešanje)
- (3) uskladištenje sirovinskog brašna
- (4) pečenje sirovinskog brašna i dobijanje polufabrikatne forme „cementnih kugli“ (proizvodnja tzv. „klinkera“)
- (5) odležavanje klinkera
- (6) mlevenje klinkera u cement
- (7) uskladištenje cementa
- (8) pakovanje i otprema

Iz prethodno rečenog se može zaključiti da proizvodnja klinkera predstavlja veoma bitan deo u integralnoj proizvodnji cementa. U *osnovne sirovine* koje služe za izradu smeše čijim će se pečenjem dobiti cementni klinker ubrajaju se: (1) sirovine karbonatnog karaktera (krečnjak i neke vrste laporca sa visokim sadržajem CaCO_3) i (2) sirovine kiselog karaktera (*gline, glinci, laporaste gline, tufovi, pucolani* itd). Postupak proizvodnje cementnog klinkera odvija se u širokom temperaturnom rasponu i obuhvata niz procesa i reakcija razlaganja i sinteze

„KLINKERI“

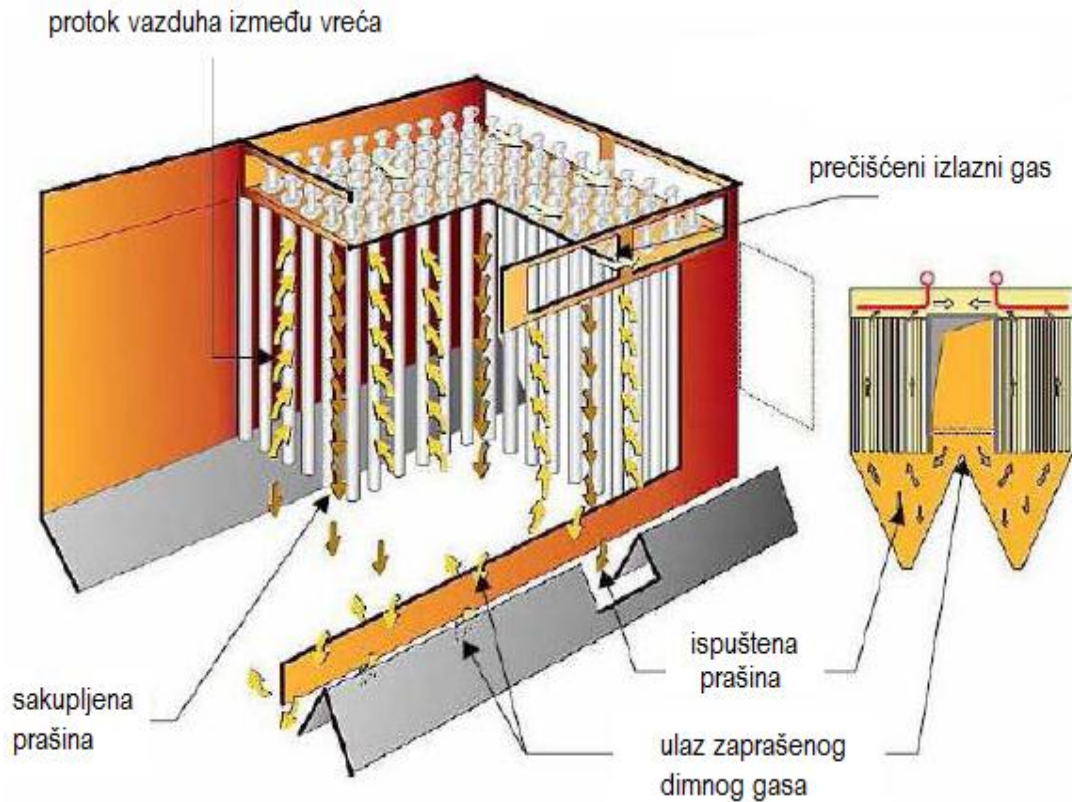
Kao što je prikazano na slici „klinkeri“ predstavljaju kugle prečnika 10÷50mm koje se dobijaju najpre termičkom obradom, a potom i mehaničkom obradom rude u kugličnim mlinovima (mlin za sirovinu-[videti slajd 15](#)) i oni ustvari predstavljaju jedan od najvažnijih, ako ne i najvažniji polufabrikat u proizvodnji cementa.



Izgled cementnih klinkera nakon procesa termičke obrade

Nakon specijalne termičke obrade a potom i hlađenja ([videti slajd 15](#)), kojim se zadržava njegov mineralni sastav, klinker se skladišti u posebne silose. Tu odstoji određeno vreme pre mlevenja kako bi slobodni kreč (CaO_{sl}), koji je, možda, još preostao, reagovao sa vlagom i CO_2 iz vazduha. Njihovom daljom obradom, odnosno mlevenjem se dobija konačni proizvod – cement. Preciznije rečeno, cement se dobija se mlevenjem klinkera sa 2 – 4% gipsa u čeličnim kugličnim mlinovima. Gips se dodaje radi regulisanja vremena vezivanja dobijenog cementa. Klinkeri su smešteni i uskladišteni obično u velikim silosima. Na njima postoje specijalni elektromehanički elementi-izuzimači kojima se na efikasni način vrši izvlačenje klinkerskih kugli na izlazni tračni transporter koji vodi ka tehnološkoj liniji za njihovu dalju obradu i procesiranje.

PRIMENA 2 : TERMoeLEKTRANE



- Prašina na filteru formira sloj, što filtriranje čini još efikasnijim.
- Kada se čestice skupe na tkanini filtera moraju se odstraniti duvanjem u obrnutom smeru.
- Skupljene i odstranjene čestice padaju u levke filtera silom zemljine teže.
- Levci se prazne odgovarajućim sistemom opreme.

- Tok dimnog gasa ide od unutrašnjosti ka spoljašnjosti filter vreće
- Za velike količine dimnog gasa (tipično za termoelektrane), koristi se konstrukcija sa većim brojem komora
- Korišćenjem većeg broja komora dobija se i veća raspoloživost
- Za vreće filtera koristi se različit spektar modernih tipova materijala (tekstil, tkani fiberglas i sl.)
- Filter od tekstila služi za kontrolisano odvajanje čestica iz gasnog toka, prilikom prolaska gasa kroz tkaninu filtera od unutrašnjosti ka spoljašnjom delu ili obrnuto, pri čemu materijal filtera vrši sakupljanje prašine.

SPECIFIČNOSTI VREĆASTIH FILTERA- TERMoeLEKTRANE

- Korišćenjem odgovarajućeg materijala filtera, (npr. tkani fiberglas sa specijalnim slojem-komercijalni naziv „*Ryton*“) i uz odgovarajuću brzinu protoka gasa, postižu se optimalni uslovi za rad filtera od tekstila.
- Korišćenjem ovog sistema filtriranja mogu se postići niže emisije; sadržaj prašine u gasu i vrsta goriva, skoro da nemaju uticaja na sadržaj čestica u čistom gasu.
- Za uobičajnu konstrukciju, emisija čestica će uvek biti ispod 50 mg/m^3 , dok će specijalna konstrukcija omogućiti vrednosti čak i ispod 5 mg/m^3
- Pored toga, određene gasovite komponente mogu se takođe apsorbovati u sloju filtera.
- Filteri od tekstila pri korišćenju više filtarskih komora imaju procenat odvajanja od skoro 100 %.
- Za protoke velikih količina gasa (kao što je to slučaj u termoelektranama), koriste se više od dve komore.
- Kod normalnog filtera od tekstila, održavanje se može vršiti tokom normalnog rada elektrane, tako što se jedna komora stavlja van pogona. Tokom normalnog režima rada gubitak pritiska je ispod 20 hPa . (h-“hekto“=100); $20 \text{ hPa} = 2000 \text{ Pa} = 2 \text{ kPa}$
- Za funkcionisanje filtera od tekstila neophodni su distributivni napon i određena električna energija.
- Pored većeg ventilatora dimnog gasa, u cilju savladavanja dodatni gubitaka pritiska od oko 15 hPa (što čini razliku između elektrostatičkih i filtera od tekstila), dodatno je potreban i ventilator za stvaranje strujanja u suprotnom smeru, neophodnog za čišćenje filtera.
- Veličina ovog ventilatora u skladu je sa protokom gasa i veličinom filtera.
- Kod tekstilnog filtera skoro sva prašina se odvaja, a nakon toga mora se otpremiti u silos ili na odlagalište.

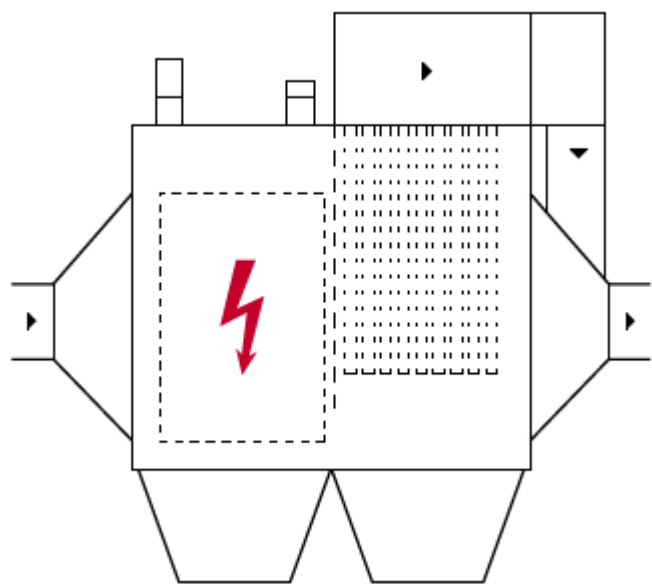
HIBRIDNI FILTERI: SINERGIJA ELEKTROSTATIČKIH I VREĆASTIH FILTERA

U novije vreme na termoenergetskim postrojenjima se sve češće koriste tzv. [hibridni filteri](#).

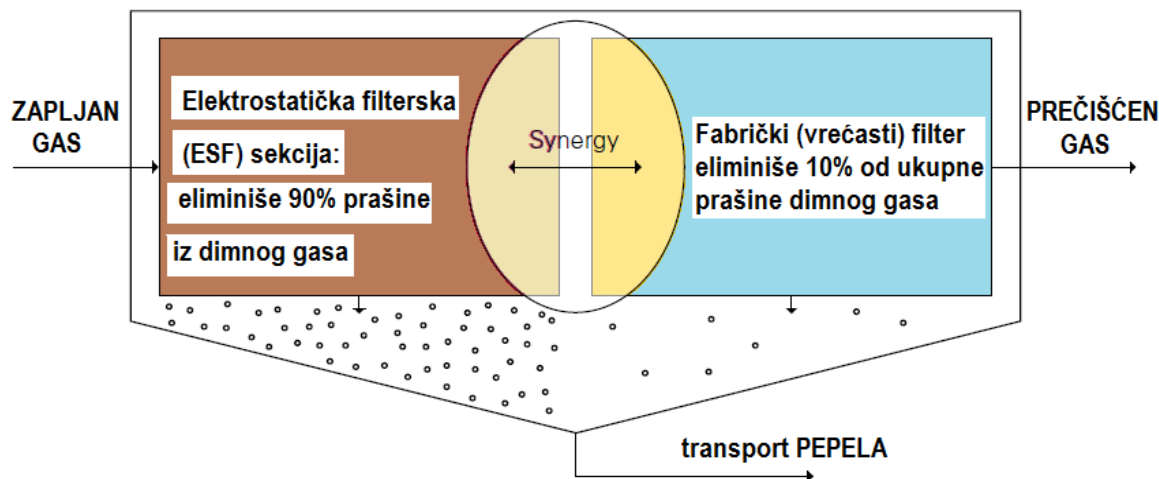
Postoje dva različita koncepta konstrukcije hibridnog filtera:

- (1) vrećasti filter instaliran iza postojećeg elektrostatičkog izdvajača (filtera) pri čemu su oni dve odvojene i posebne celine, a spojeni su odgovarajućim dimnim kanalima
- (2) Postrojenje sa elektrostatički izdvajačem (filterom) i vrećastim filterom u jednom kućištu, pri čemu se neka električna polja elektrostatičkog filtera menjaju vrećama.

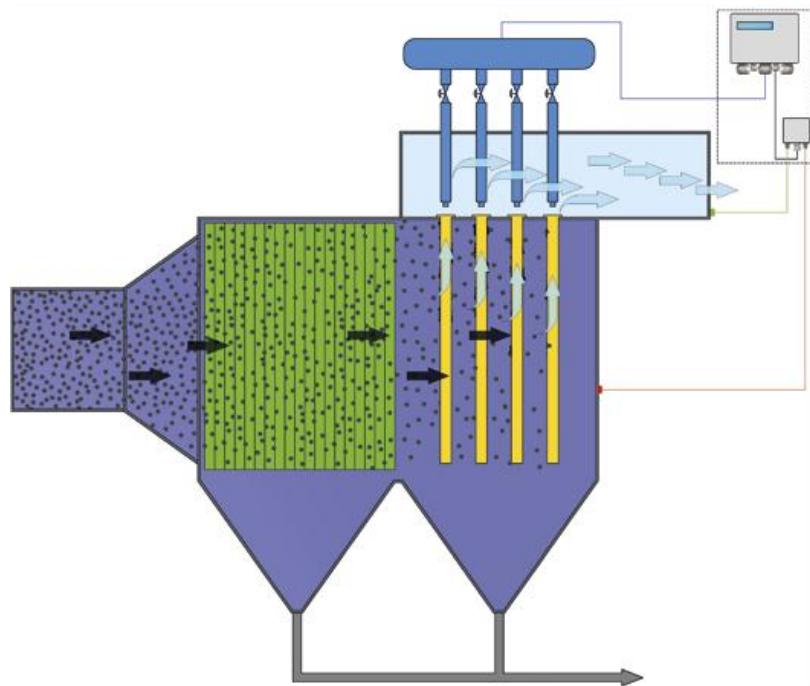
U oba slučaja, elektrostatički filter odvaja veću količinu čestica i čestice većeg prečnika, dok vrećasti filter odvaja manju količinu čestica i po pravilu sitnije čestice



Elektrostatički filter (ESF) Fabrički (vrećasti) filter



HIBRDNİ FILTERI RENOMIRANOG PROIZVOĐAČA „ELEX“



Elektrostatički
filter (ESF)

Fabrički (vrećasti) filter
sa penumatskim sistemom
za čišćenje i pražnjenje
vreća



*Praktična realizacija
hibridnog filtera-ELEX*

- Često, prilikom promene uslova rada ili proširenja proizvodnih kapaciteta, postojeća instalacija elektrostatičkih filtera, ne ispunjava zahteve.
- U takvim slučajevima, elektrostatički izdvajač se može pretvoriti u hibridni filter da bi bio u skladu sa novim tehničkim uslovima, bez potrebe da se menja celokupna oprema.
- Samo električno polje elektrostatičkog izdvajača može u najvećem broju slučajeva eliminisati najmanje 90% od ukupne zapremine prašine, i što je bitno pri relativno maloj potrošnji električne energije.
- Zahvaljujući jonizaciji i efektu aglomeracije u delu elektrostatičkog taložnika, gubitak pritiska (u odnosu na vrećasti filter) je smanjen do 40%.
- Samo 10% performansi čišćenja su izvedene vrećastim filterom, a upotreba komprimovanog vazduha je znatno smanjena, što posledično značajno produžava intervale životnog veka i održavanja filtera.
- Kao rezultat pomenute sinergije, ukupna efikasnost sistema za prečišćavanje je značajno veća, u odnosu na slučaj kada se ovi sistemi koriste kao pojedinačni.



ELEX- realizovani hibridni filteri

ELEKTROSTATIČKI FILTER

VREĆASTI FILTER



Hibridni filter bloka 5 u Termoelektrani "Kakanj"

ZAKLJUČAK

- U prezentaciji su predstavljene osnove funkcionisanja vrećastih filtera koji se koriste za industrijska prečišćavanja vazduha
- Ovaj tip filtera se koristi kada je neophodna visoka efikasnost izdvajanja i odstranjivanja čestica čija veličina idu od submikronskih , pa do nekoliko stotina mikrona u prečniku.
- Efikasnost ovih filtera je veoma visoka (do 99,99%).
- Za uobičajnu konstrukciju, obezbeđuju GVE čestica ispod 50 mg/m^3 , dok neke specijalne konstrukcija obezbeđuju vrednosti čak i ispod 5 mg/m^3
- U novije vreme su postali naročito interesantni u sinergiji sa elektrostatičkim filterima- tzv. HIBRIDNI FILTERI
- Kao rezultat toga, ukupna efikasnost je značajno veća, u odnosu na slučaj kada se ovi sistemi koriste kao pojedinačni.
- U predavanju su prikazana neka praktična rešenja i primene vrećastih filtera na domaćem (POTEX, IRMA) i inostranom nivou (REDECAM, ELEX...)

LITERATURA

1. Z.N.Milovanović, Termoenergetska postrojenja, B.Luka, 2011.
2. VREĆASTI FILTERI -IRMA; <http://www.irma-ps.com/srb/vrecastifilteri.html>
3. VREĆASTI FILTERI -POTEX:
<https://www.potex.co.rs/Proizvodi/Filteri/Vrecasti%20kompakt%20filteri.pdf>
4. VREĆASTI FILTERI-REDECAM: <http://www.redecam.com/bag-filters/>
5. Ž.V.Despotović, V.Šinik, "Naponska regulacija tiristorskog energetskog pretvarača u pogonu elektromagnetnog vibracionog silosnog izuzimača", ENERGIJA-ekonomija-ekologija, Vol.3-4, Godina XIX, pp. 146-155, Mart 2017, UDC 621.316.542, ISSN 0354-8651.
6. HIBRIDNI FILTERI –ELEX: <https://www.elex.ch/content/hybrid-filters>
7. K.Bečić, D.Tica, E.Đakovac, „ISKUSTVA SA HIBRIDNIM OTPRAŠIVAČEM NA BLOKU 5 U TERMOELEKTRANI –KAKANJ“, *International conference Power Plants 2010, Vrnjačka Banja, Srbija*
<http://e2010.drustvo-termicara.com/resources/files/presentations/becic.pdf>

Hvala na pažnji!!!!



Beograd, MART 2021