

TAKING
COOPERATION
FORWARD

 Online, 24.02.2021.

 **EMISIJE, KVALITETA ZRAKA, GORIVO I LOGISTIKA PEPELA**

 ENTRAIN | Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske | Martina Krizmanić Pećnik

Gdje se
pojavljuje
pepeo

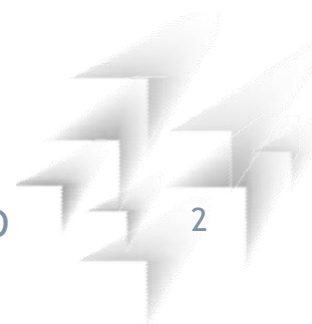
Tehnologija
postrojenja
logistike pepela

Napomene /
preporuke

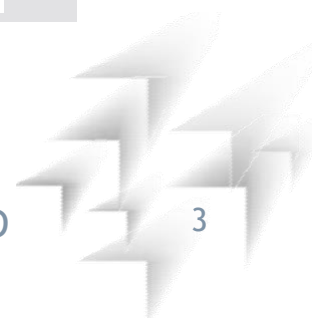
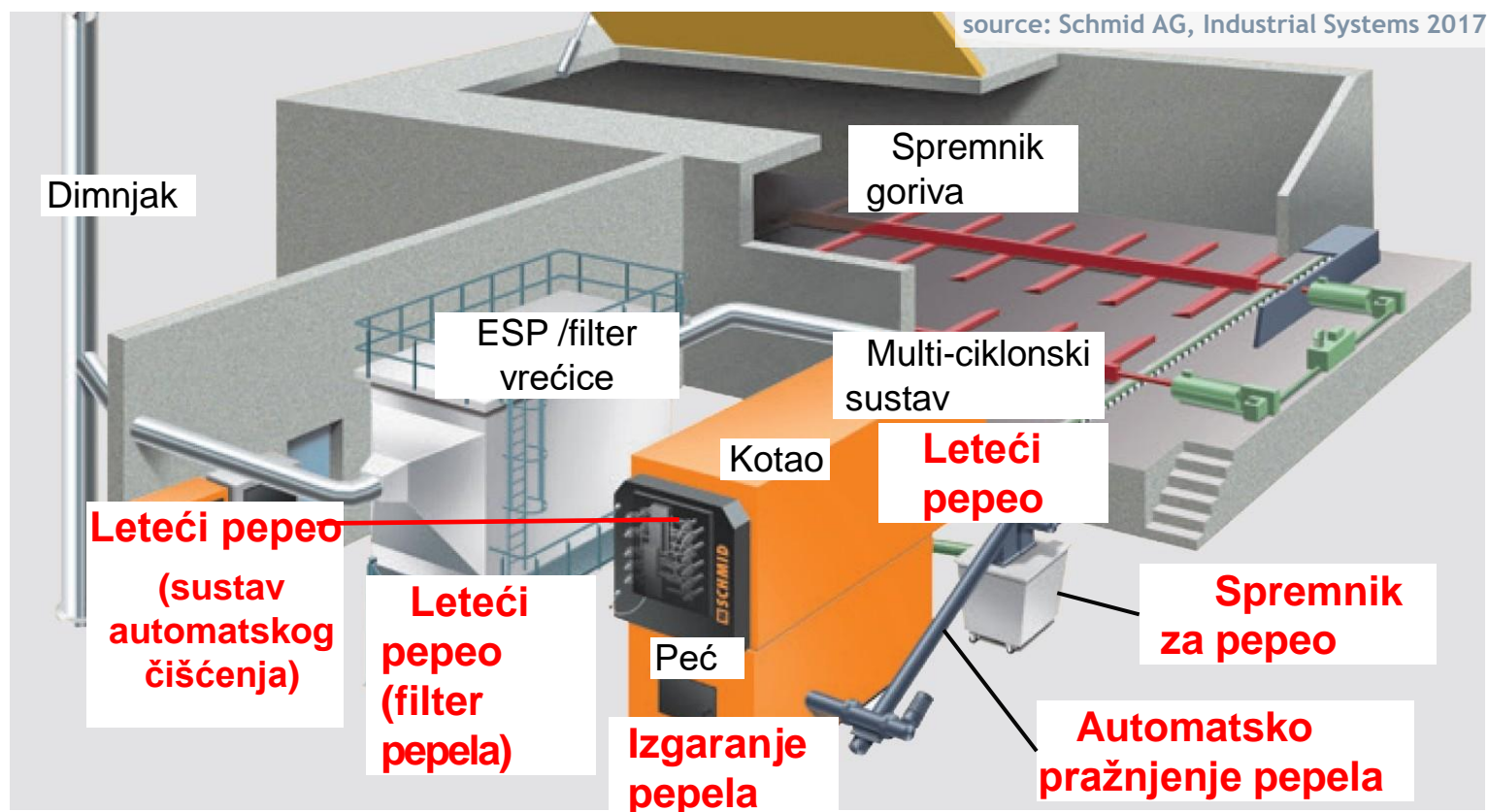
Emisije i
kvaliteta
zraka

Kvaliteta
goriva

Primjeri iz
prakse



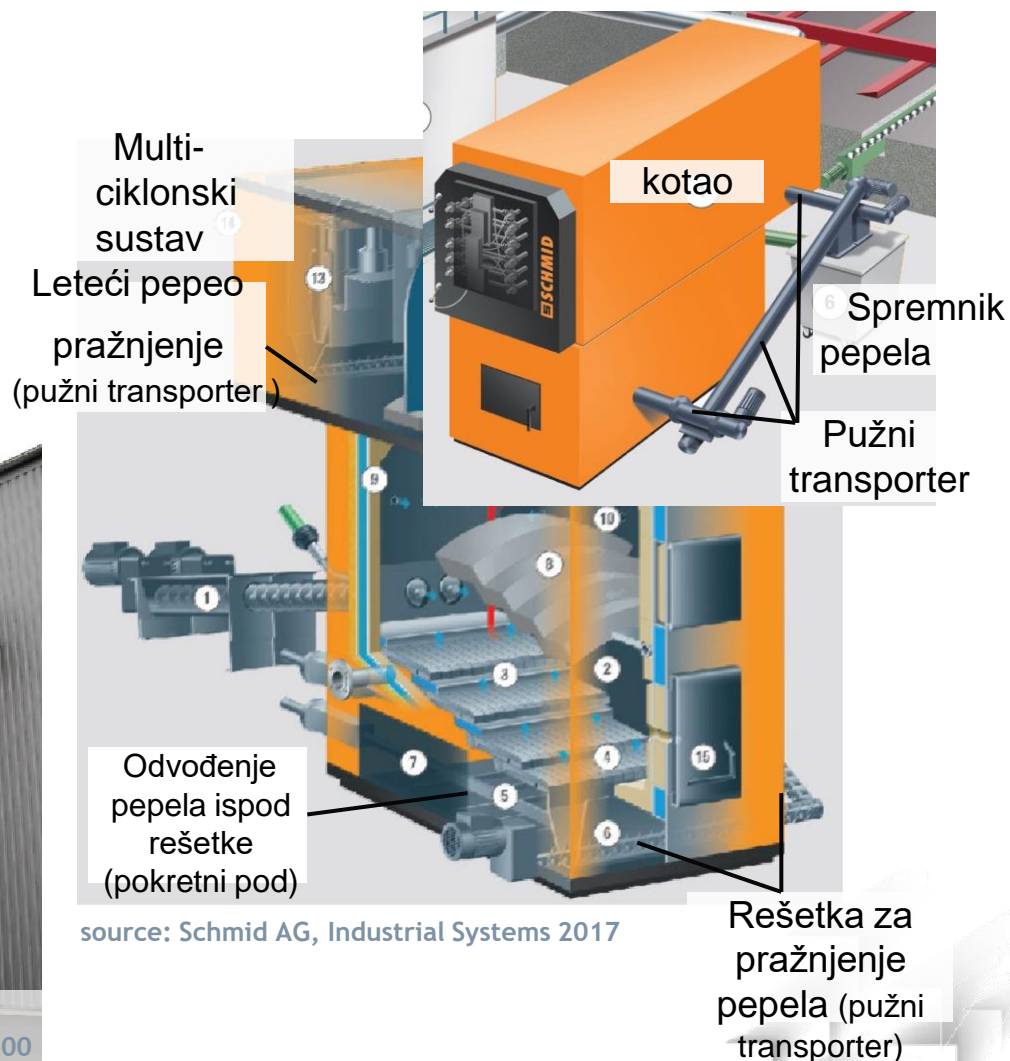
GDJE SE POJAVLJUJE PEPEO



TEHNIKA POSTROJENJA LOGISTIKA PEPELA

Sustavi automatskog ispuštanja pepela

- Potisne šipke / pokretni podovi
- Vijčani transporteri
- Koritasti lančani transporteri



LOGISTIKA PEPELA

NAPOMENE / PREPORUKE

Pažnja! Vruće, prljavo i prašljivo ...

- Nepropusnost zraka (cijeli sustav, spremnik)
- Sigurnost u vezi rukovanja

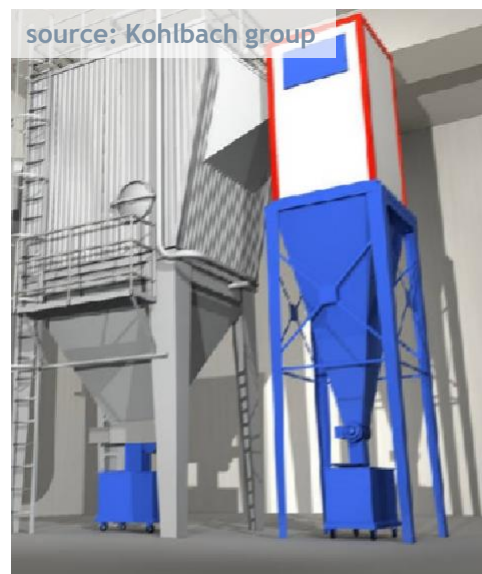


source: Schmid AG,
Industrial Systems 2017



• Frakcije pepela (pepeo na rešetki i lebdeći pepeo iz filtara) obično se sakupljaju zasebno.

- Transport i odvoz / odlaganje pepela regulirani su zakonom.
- Najkraća moguća udaljenost spremnika za ispuštanje i spremnika pepela (minimalizira probleme zbog začepjenja)
- Ako je moguće izravno ispuštanje u spremnik
- Dovoljno prostora za rukovanje kontejnerom (kako bi se kamion mogao okrenuti)

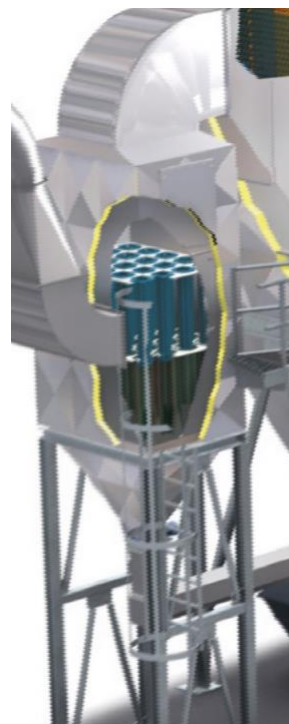


source: Kohlbach group

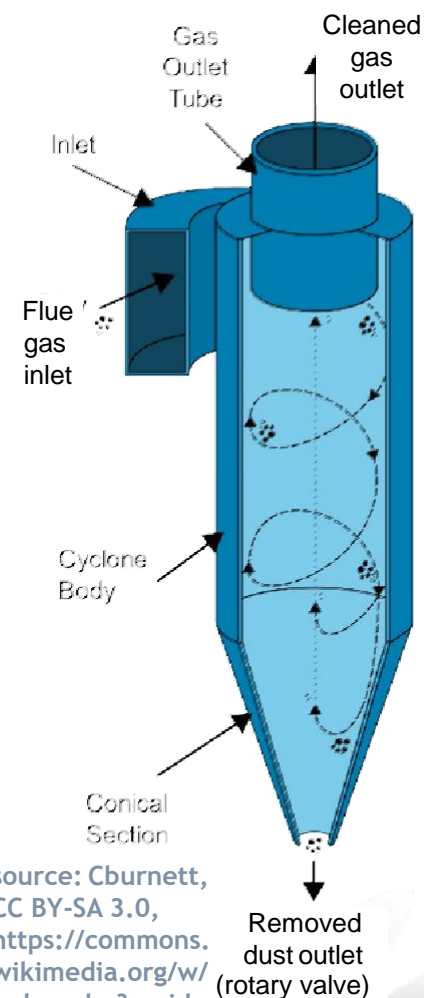
CIKLON

- Ciklonski odvajač /separator
- Grubi komadići lebdećeg pepela (čestice > 5 μm)
- Široki radni prozor (temperatura do > 1000° C)
- Obično je zamišljen kao multiciklon
- Opterećenje prašinom nizvodno < 150 mg/Nm³ ako je moguće

Tehnika za postrojenja gdje izgara industrijska biomasa



source: multi-cyclone from Scheuch at Holzwärme Grindelwald (CH) in Focus Technik, Ausgabe 1, 2011, Schmid energy solutions



source: Cburnett, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1887330> (modified)



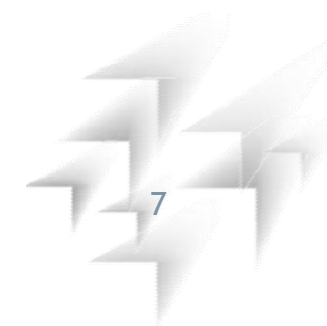
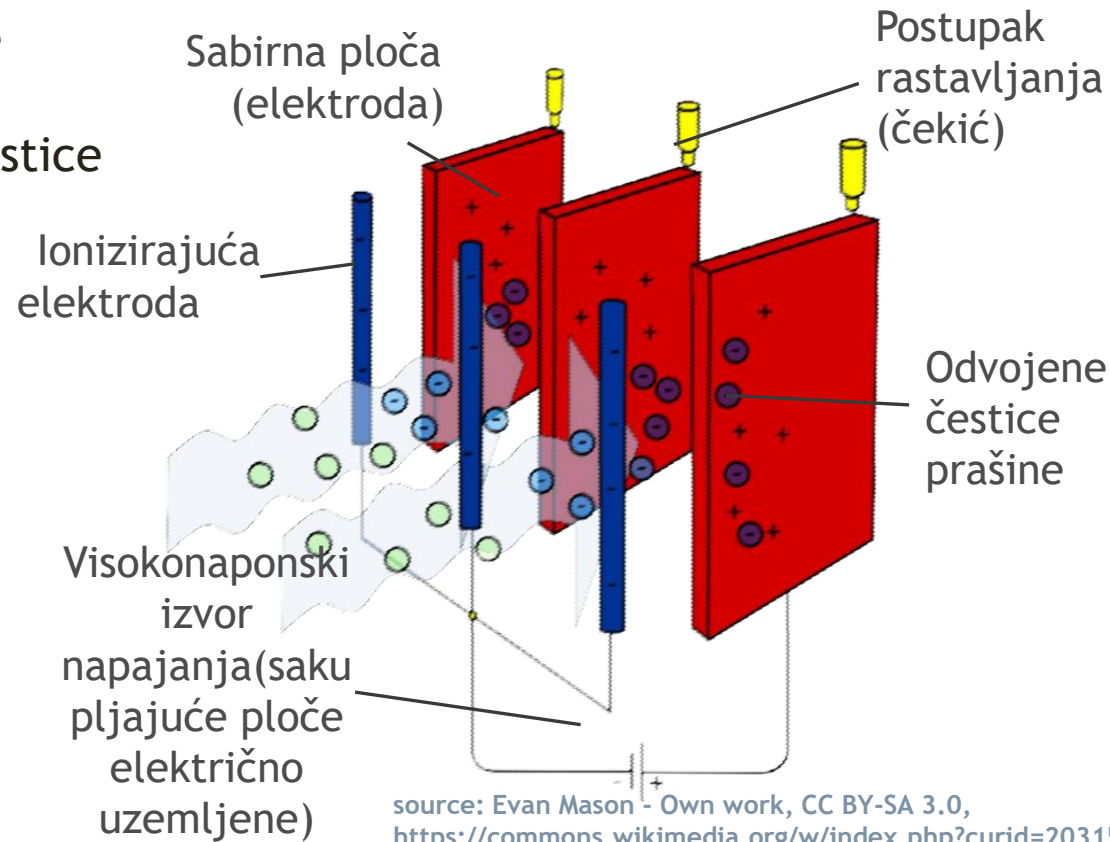
UREĐAJ ZA SUZBIJANJE PRAŠINE - Elektrostatički precipitator

- Elektrostatičko odvajanje čestica
 - Prikladno za vrlo male čestice ($\geq 1 \mu\text{m}$)

- Suho (dESP) ili mokro (wESP) moguća operacija

- dESP za postrojenja koja moraju zadovoljiti emisije prašine $< 50 \text{ mg/Nm}^3$
- wESP za primjenu nizvodne jedinice za kondenzaciju dimnih plinova
- Oko 120°C minimalne radne temperature

- Sigurnosne mjere u pogledu rada visokog napona (u opsegu 20 do 100 kV) moraju se razmotriti



ELEKTROSTATIČKI PRECIPITATOR PRIMJER



- 1 GAS DISTRIBUTION SYSTEM
- 2 IONISING ELECTRODES
- 3 COLLECTING ELECTRODES
- 4 RAPPING MECHANISMS
- 5 HIGH-VOLTAGE UNIT
- 6 DUST DISCHARGE SYSTEM
- 7 TRACE HEATING
- 8 MAINTENANCE OPENINGS

source: Scheuch Electrostatic Precipitators (product folder)

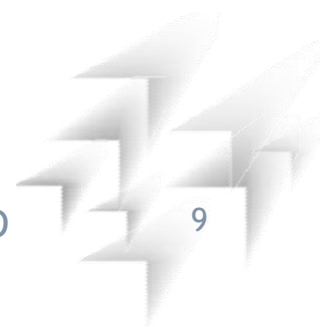
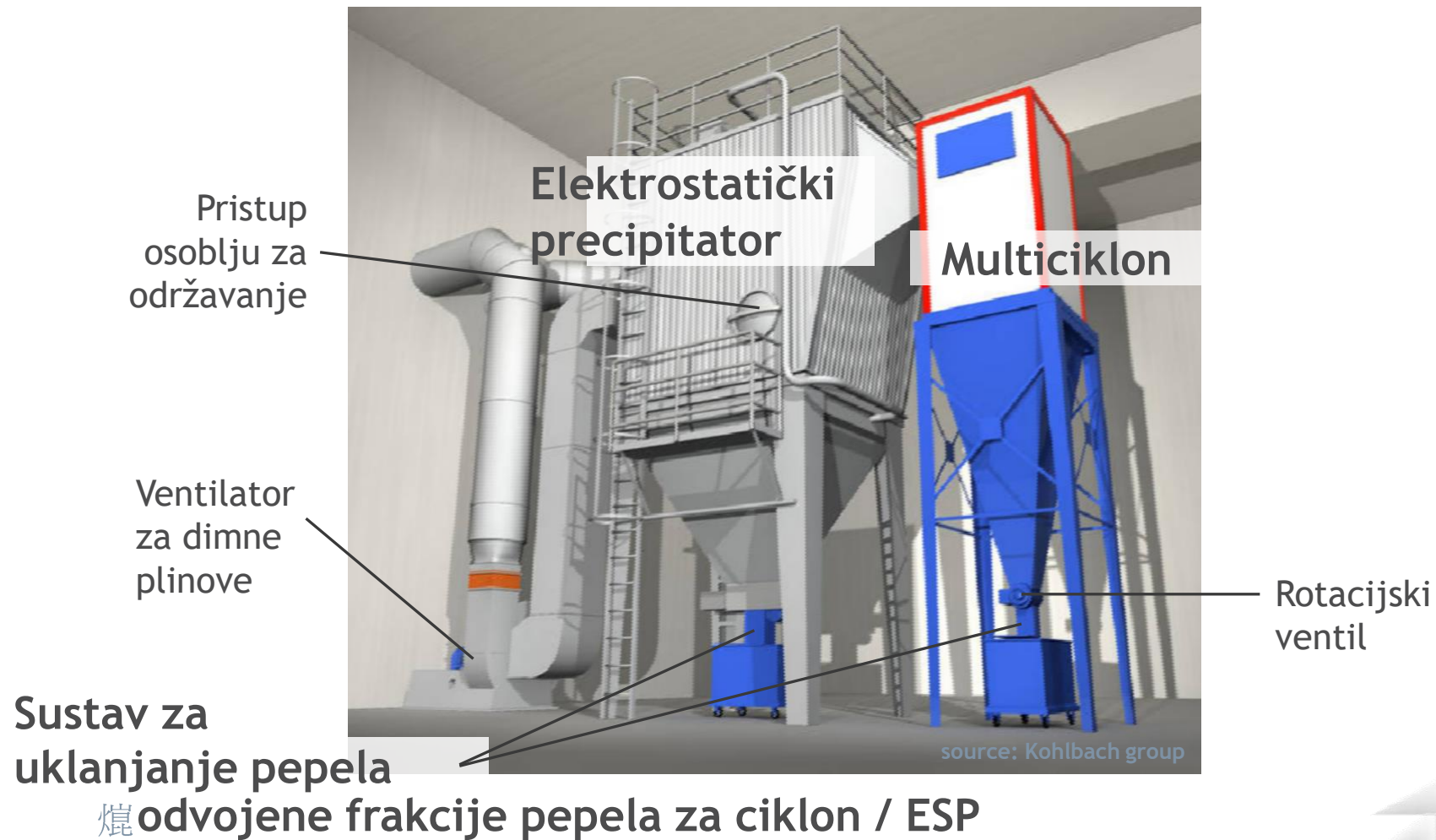
ESP u toplani na biomasu (4 MW) u Maria Gugging
(Donja Austrija)



source: Ulrichulrich in German Wikipedia, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10748610>

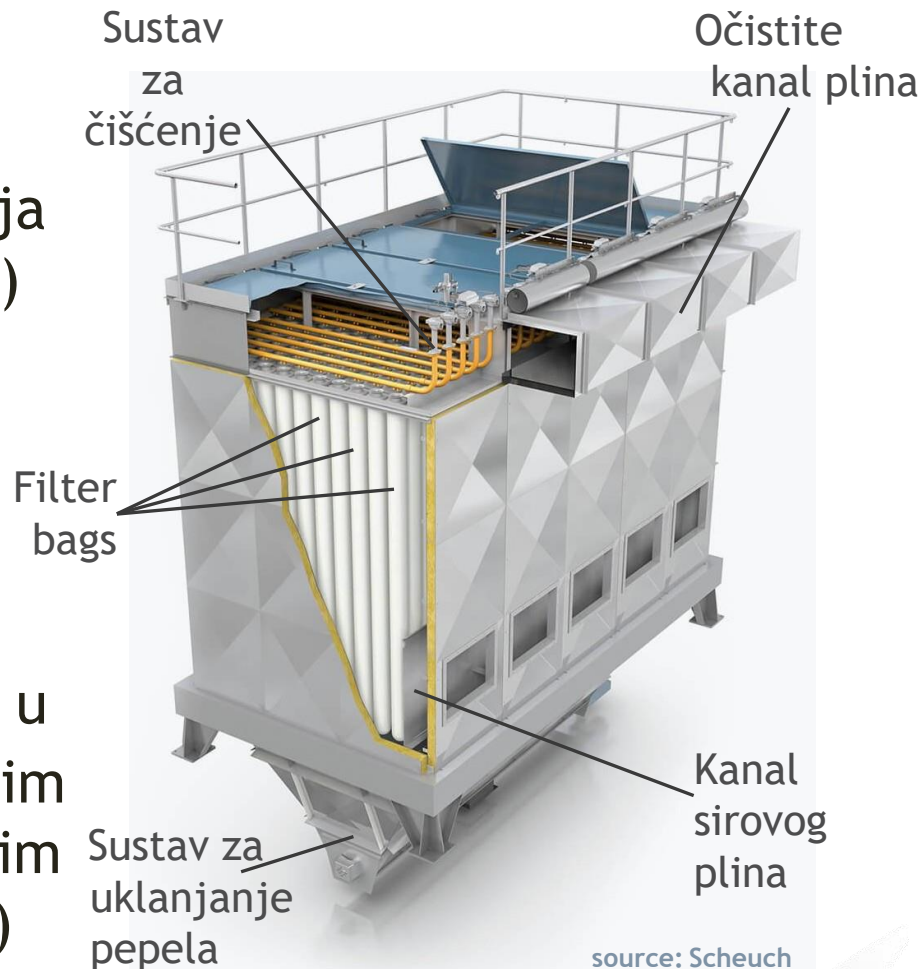


PRIMJER SUSTAVA ZA PROČIŠČAVANJE DIMNIH PLINVA S MULTICIKLONOM I ESP



SABIRALIŠNI FILTER

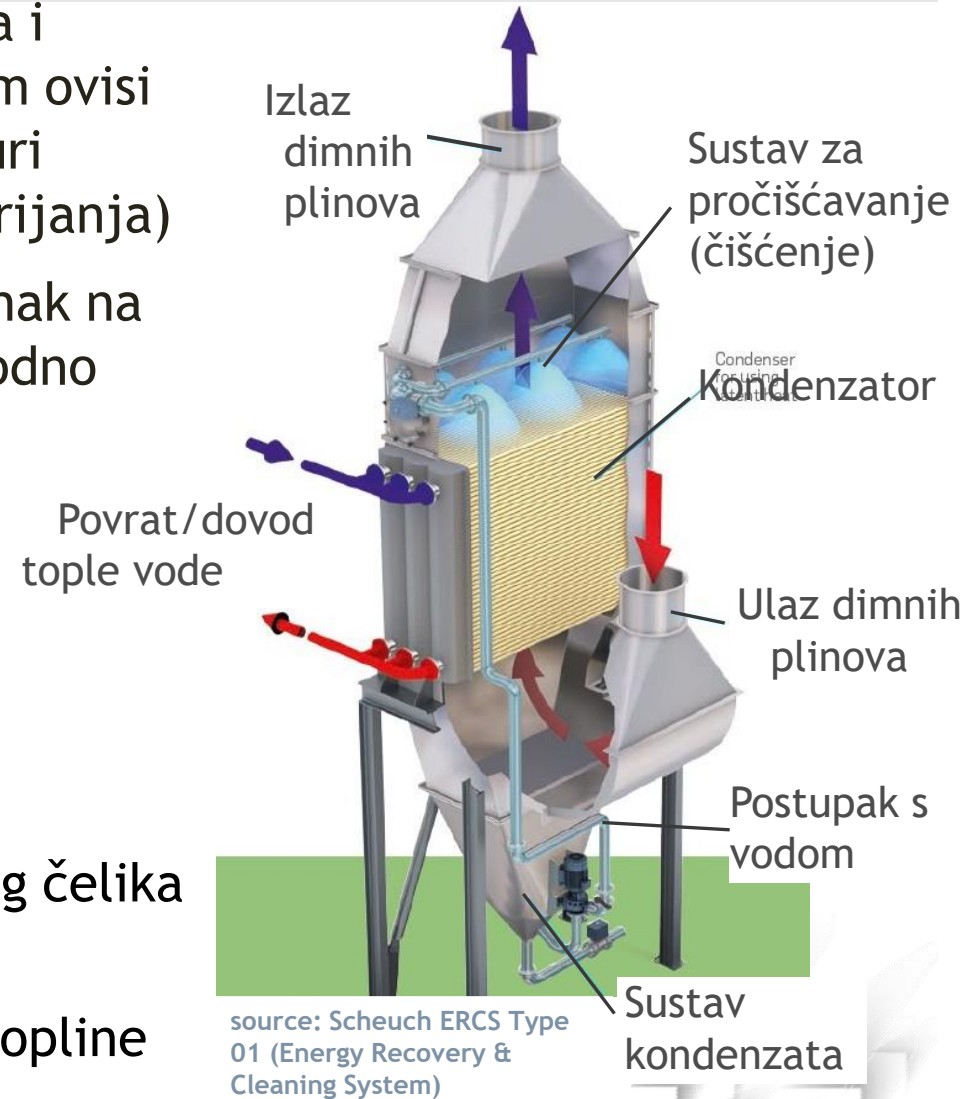
- Filtar od tkanine (adhezijski separator)
- Gotovo 100% učinkovitost uklanjanja prašine (neovisno o veličini čestica)
- Čišćenje plinova prašinom $< 5 \text{ mg/Nm}^3$
- Minimalna radna temperatura oko 180°C
- Uklanjanje prašine iz filter vrećice u desustav za odvođenje pepela čestim povratnim zračenjem komprimiranim zrakom (sustav impulsnog čišćenja)
- Primjenjuje se u postrojenjima gdje izgara otpadno drvo



KONDENZACIJA DIMNIH PLINOVA (ČISTAČI)

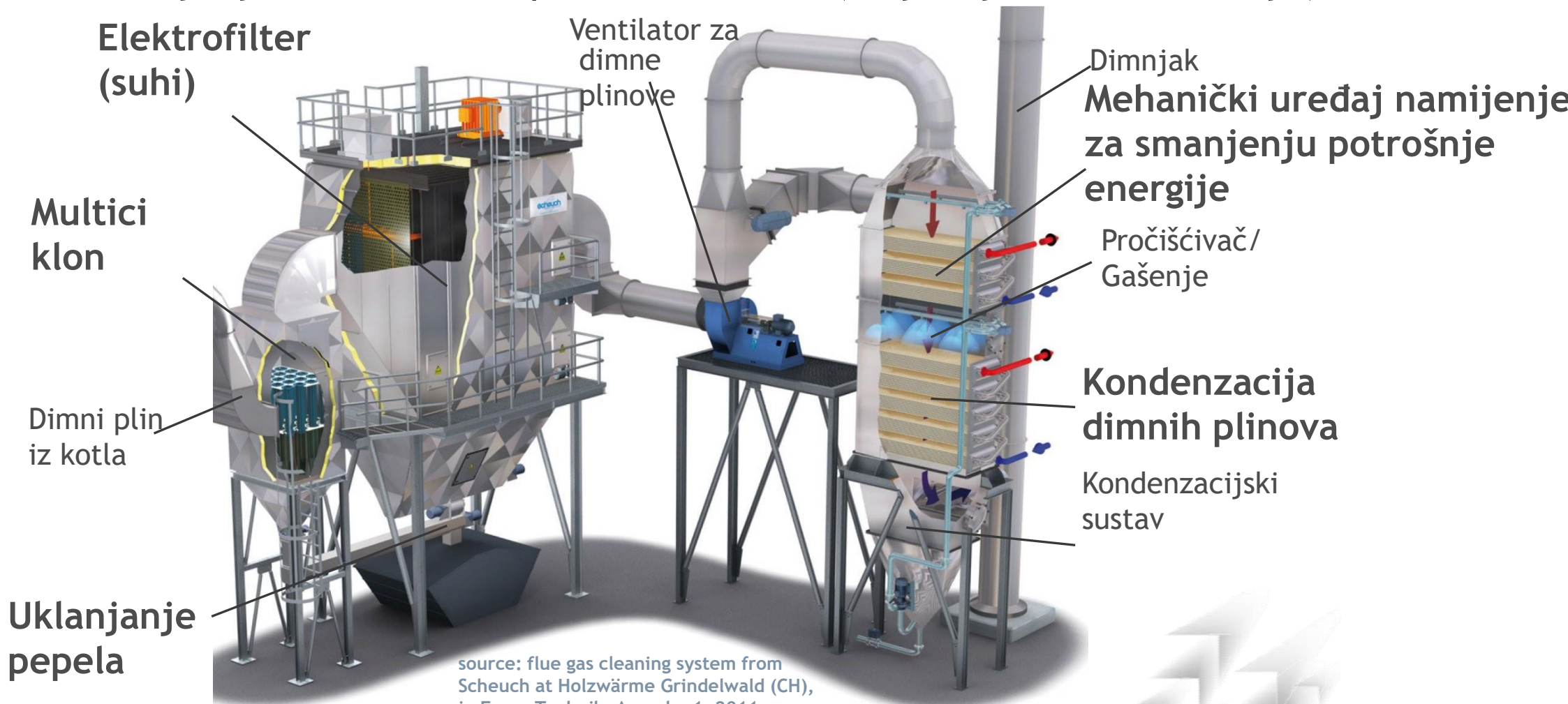
- Prvenstveno povrat topline (osjetljiva i latentna toplina - izvedivost uglavnom ovisi o sadržaju vlage u gorivu i temperaturi povratnog toka iz mreže daljinskog grijanja)
- Preporučuje se dodatni pozitivan učinak na emisiju prašine lebdećeg pepela uzvodno (dESP) kako bi se smanjili problemi korozije kondenzatora i sastava kondenzata
- Izlaz plina za prašinu < 50 mg/Nm³ (bez ESP uzvodno)
- Gotovo 100% grubo uklanjanje letećeg pepela (veličina čestica > 1 µm)
 - Izmjenjivač topline od nehrđajućeg čelika (kondenzator)
 - Periodično čišćenje izmjenjivača topline

 Postupak voda / mogućnosti za čišćenje plina (gašenje)



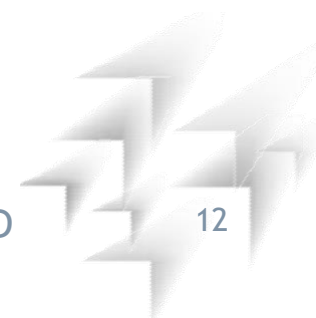
PRIMJER SUSTAVA ZA ČIŠĆENJE DIMNOG PLINA S ESP I KONDENZACIJOM DIMNOG PLINA

爐 Postrojenje s izlaznom toplinom od 5 MW (uključujući kondenzaciju)



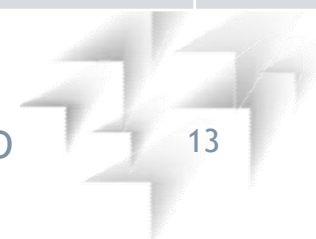
source: flue gas cleaning system from Scheuch at Holzwärme Grindelwald (CH), in Focus Technik, Ausgabe 1, 2011, Schmid energy solutions

TAKING COOPERATION FORWARD

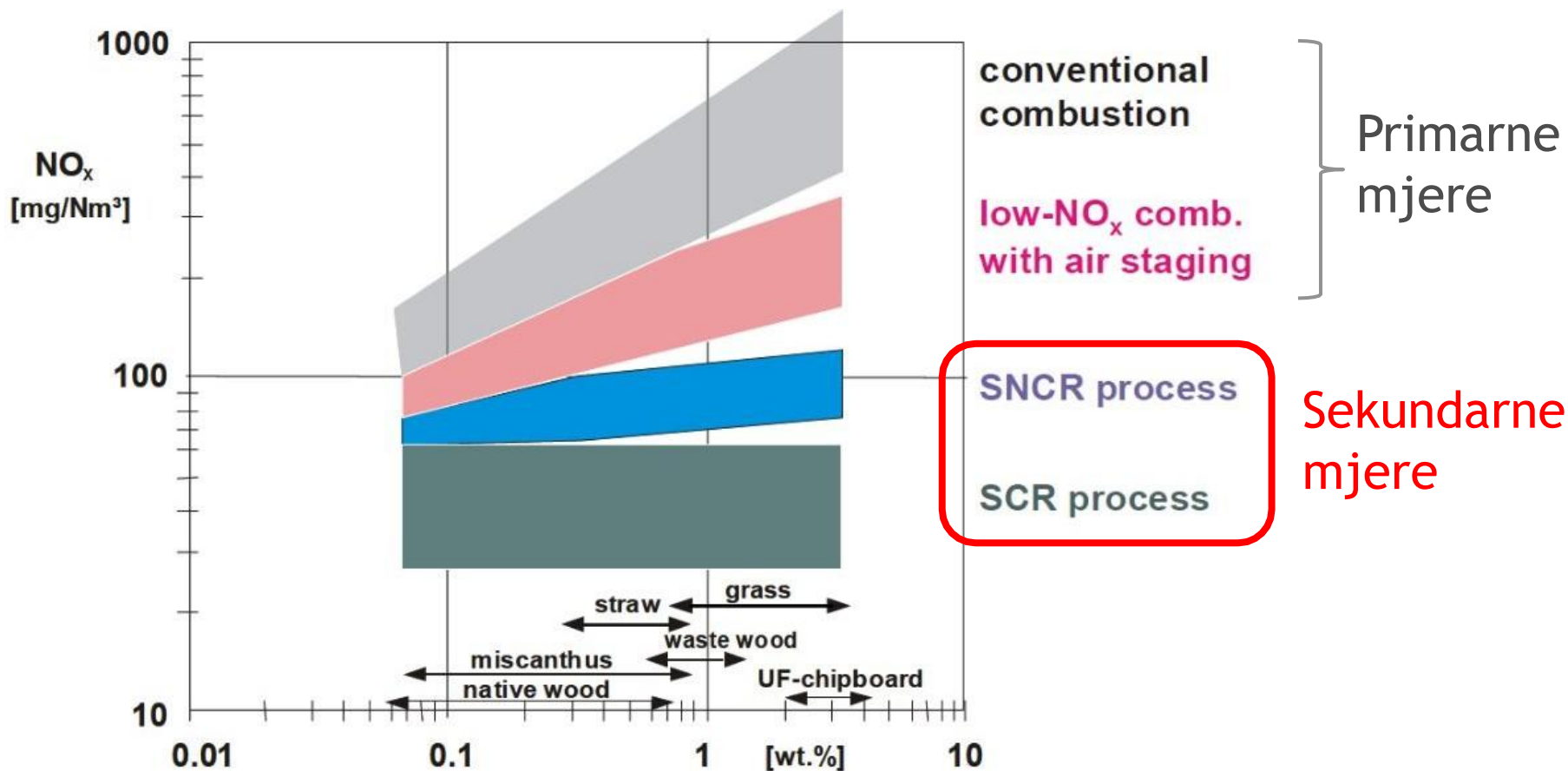


PREGLED TEHNOLOGIJE ZA PRAŠINU

| | Cikloni | ESP (suho) | Filter ta vrećice | Kondenzacija dimnih plinova |
|--|-------------------|----------------------|--|-----------------------------|
| Veličina čestice | > 5 μm | $\geq 1 \mu\text{m}$ | all | $\geq 1 \mu\text{m}$ |
| Sadržaj prašine očišćeni plin [mg/Nm ³ , 11% O ₂] | 120 - 200 | 5 - 50 | 1 - 5 | 25 - 50 |
| Radna temperatura min (max) [°C] | (> 1000) | 120 - 130 (300) | 180 - 220 (280) | (40 - 60) |
| Gubitak tlaka [mbar] | 6 - 15 | 1.5 - 3 | 10 - 20 | |
| Opcije | multiciklon | mokro ESP | Suha sorpcija (HCl, SO _x , Hg, dioxins) | pročišćivač (gašenje) |



DUŠIK - NO_x U TEHNOLOGIJAMA DIMNOG PLINA DENOX



explanations: NO_x calculated as NO₂ (d.b., 11 vol-% O₂)
source: I. Obernberger, THE PRESENT STATE AND FUTURE DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL BIOMASS COMBUSTION FOR HEAT AND POWER GENERATION, Figure 24

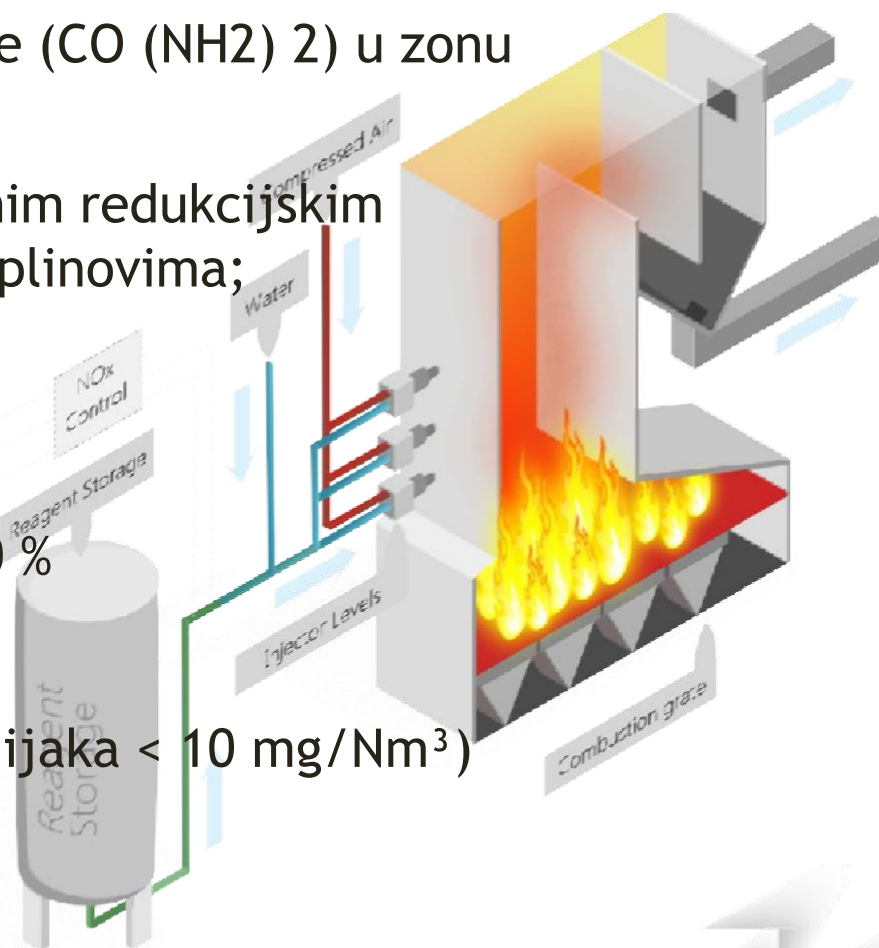


SELEKTIVNO NEKATALITIČKO SMANJENJE (SNCR)

- Injektiranje amonijaka (NH_3) ili uree ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) u zonu sekundarnog izgaranja
- Reakcija dušikovih oksida (s ubrizganim redukcijskim sredstvom) do N_2 izravno u dimnim plinovima;

nusproizvodi: H_2O (i CO_2)

- Temperatura od 850°C do 950°C
- Smanjenje učinkovitosti od 60 do 70 %
- NO_x nizvodno $< 100 \text{ mg}/\text{Nm}^3$
- Amonijak nije reagirao (klizač amonijaka $< 10 \text{ mg}/\text{Nm}^3$)
- Isplativo rješenje

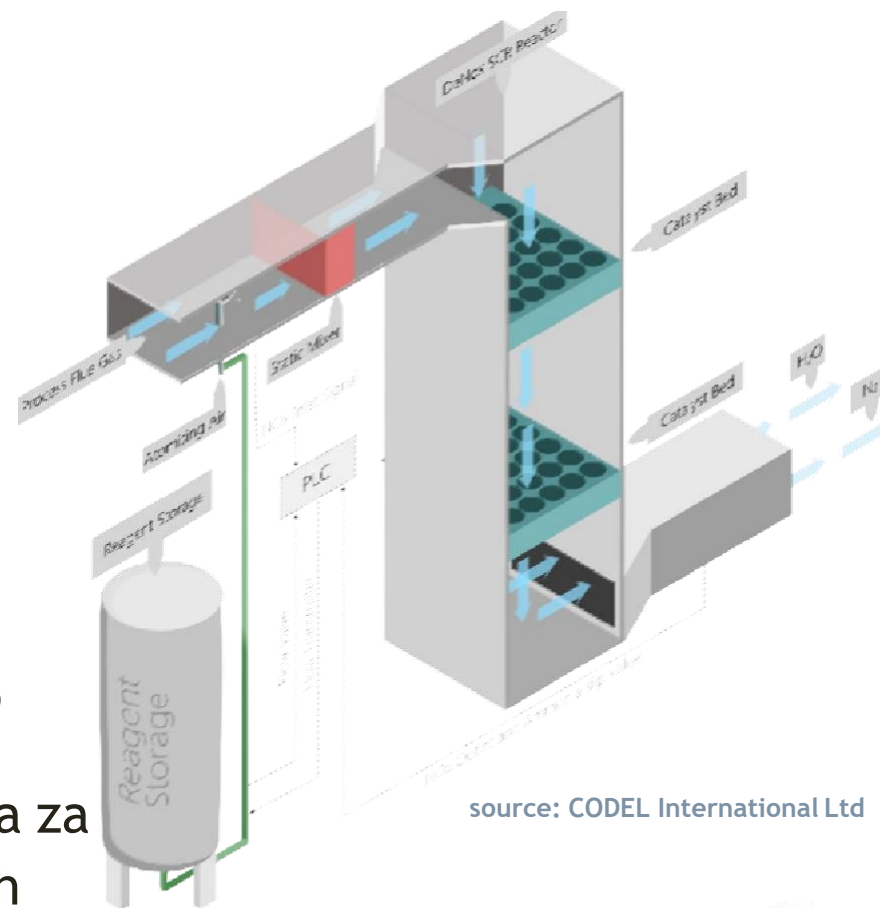


source: CODEL International Ltd

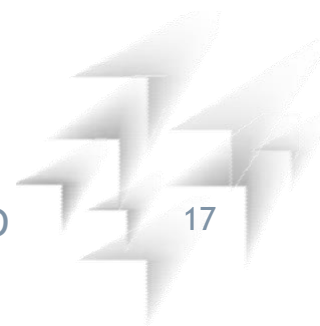


SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION (SCR)

- (slično tehnologiji smanjenja NOx koja se primjenjuje za dizel motore u automobilima)
- Redukcija NOx amonijakom uporabom katalizatorskog materijala
- Temperatura od 170°C do 450°C
- Smanjenje učinkovitosti od 80 do 95 %
- NOx nizvodno niži nego kod SNCR
- Klizanje amonijaka u opsegu od 1 do 5 mg/Nm³
- Problemi s deaktiviranjem katalizatora za izgaranje biomase (zbog kalija i ostalih alkalnih spojeva u dimnim plinovima)



- Čišćenje dimnih plinova važna je komponenta za postrojenja
 - Lokalne i regionalne vlasti, operativna dozvola
 - Javno prihvaćanje
- Zahtijeva posebnu pažnju i temeljito planiranje
 - Procjena lokalnih zakonskih ograničenja emisije
 - Izbor prikladne tehnologije
 - Uzmite u obzir potražnju i troškove prostora



Glavni parametri koji utječu na emisije i kakvoću zraka

┆ Svojstva goriva

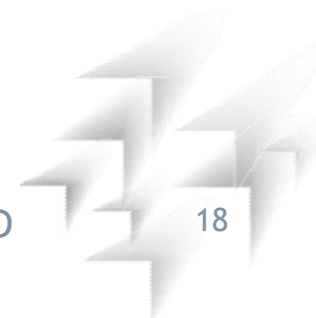
┆ **Temperatura izgaranja**

┆ Miješanje dimnih plinova u peći ☾ **turbulencija**

┆ **Vrijeme** zadržavanja dimnih plinova u peći

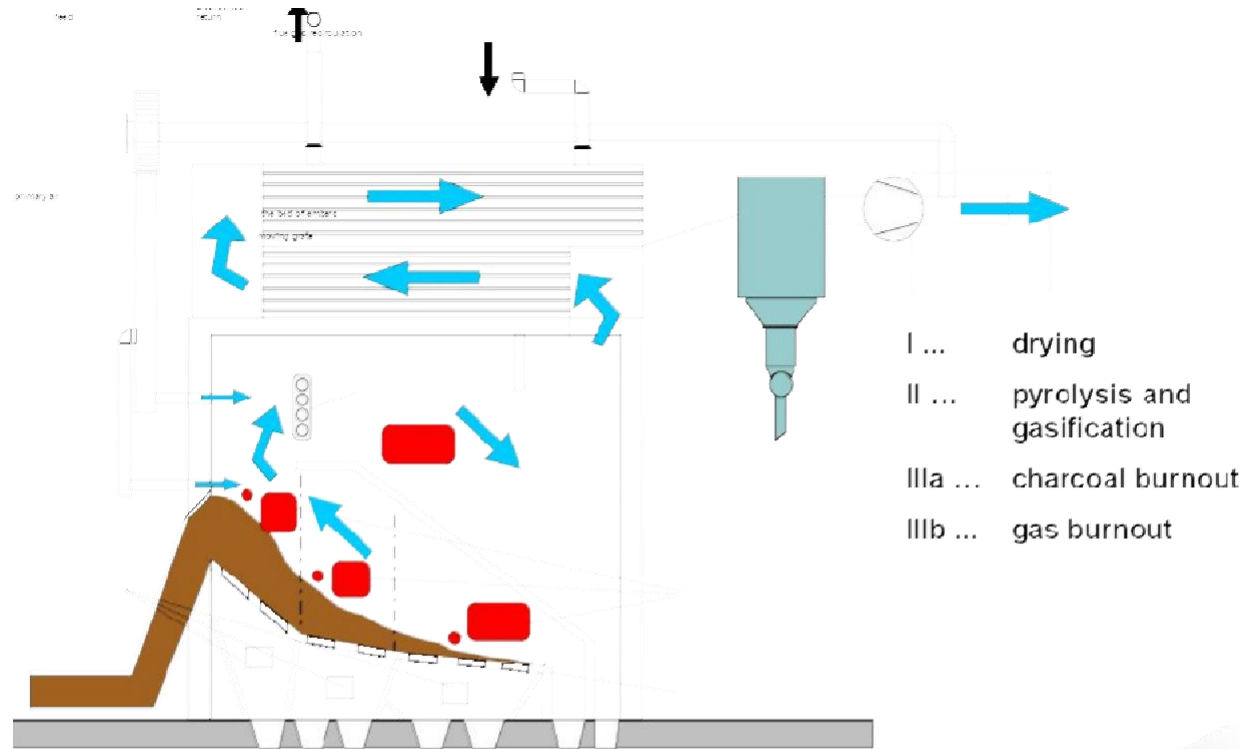
┆ Kontrola procesa

Time, **T**emperature and **T**urbulence
Vrijeme, Temperatura i Turbulencija



Faze procesa sagorijevanja biomase

- Sušenje
- Piroliza
- Plinifikacija
- Izgaranje



Reference: [1]



Pregled tehnologija izgaranja

Ț Izgaranje na rešetki (Grate combustor)

Ț Suvremena rješenja sustava izgaranja uključuju kontinuirano pomičnu i vodom hladenu rešetku - provodi se vlažno otpepeljivanje s dna peći

Ț Izgaranje u fluidiziranom sloju (Fluidised bed combustors)

Ț Ložišta s izgaranjem u mjehuričastom fluidiziranom sloju

Ț Ložišta s izgaranjem u cirkulirajućem fluidiziranom sloju

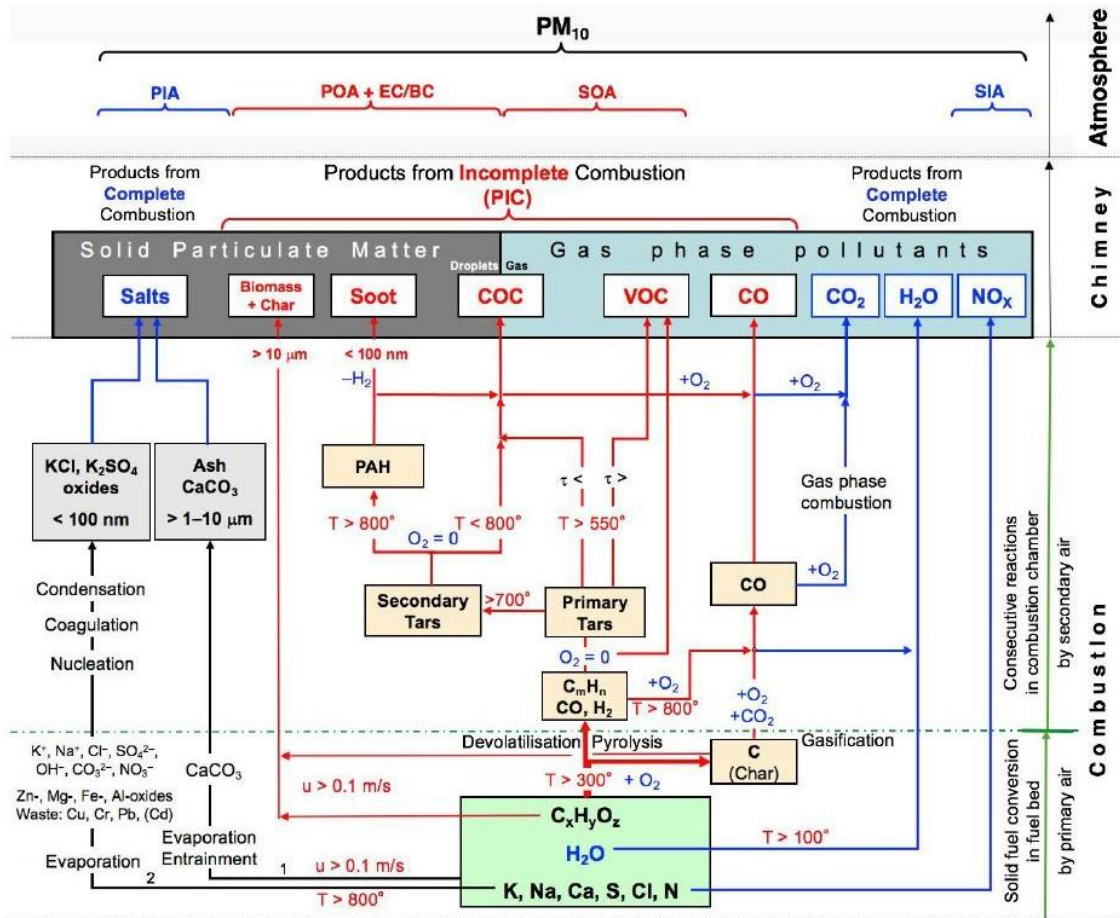
Ț Biomasa izgara u mješavini plina i sloja silikatnog pijeska

Ț Izgaranje u letu (raspršujućem sloju) - (Pulverised fuel combustors)

Ț Koriste se za velika postrojenja i komunalne namjene, također i u sustavima gdje se biomasa suspaljuje s ugljenom



Vrste emisija tijekom procesa sagorijevanja biomase



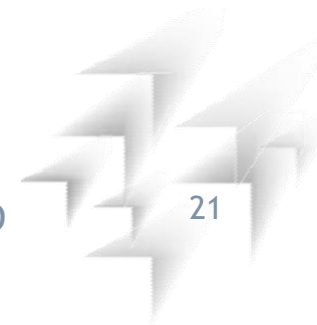
Emisija =
kvaliteta
zraka

Emisije

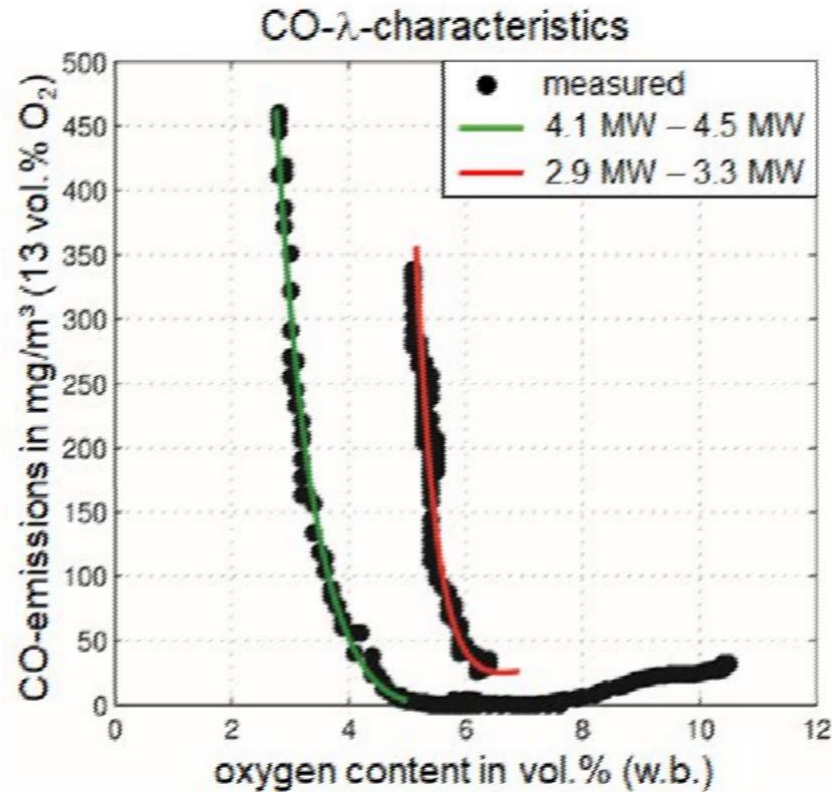
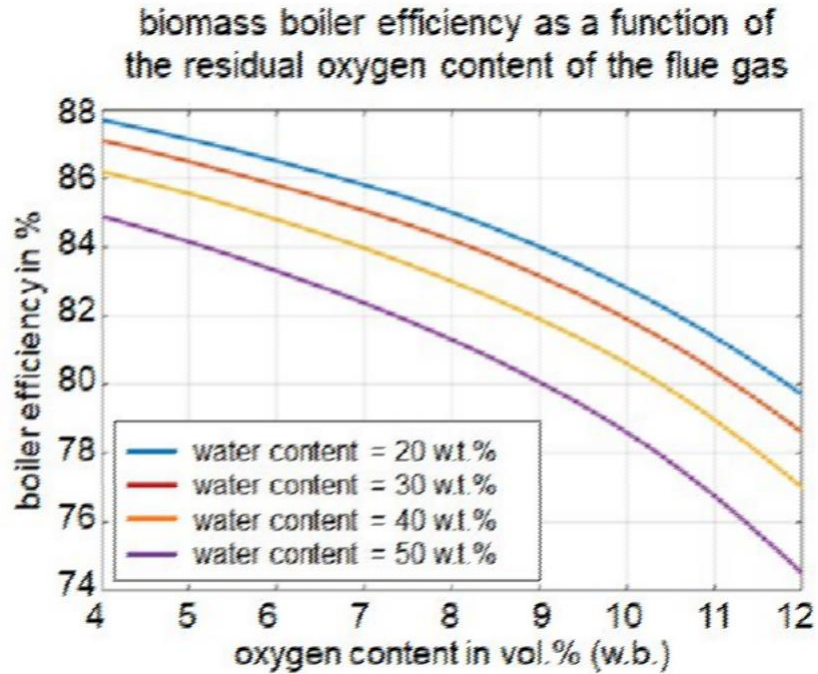
Reference: [2]

TAKING COOPERATION FORWARD

21



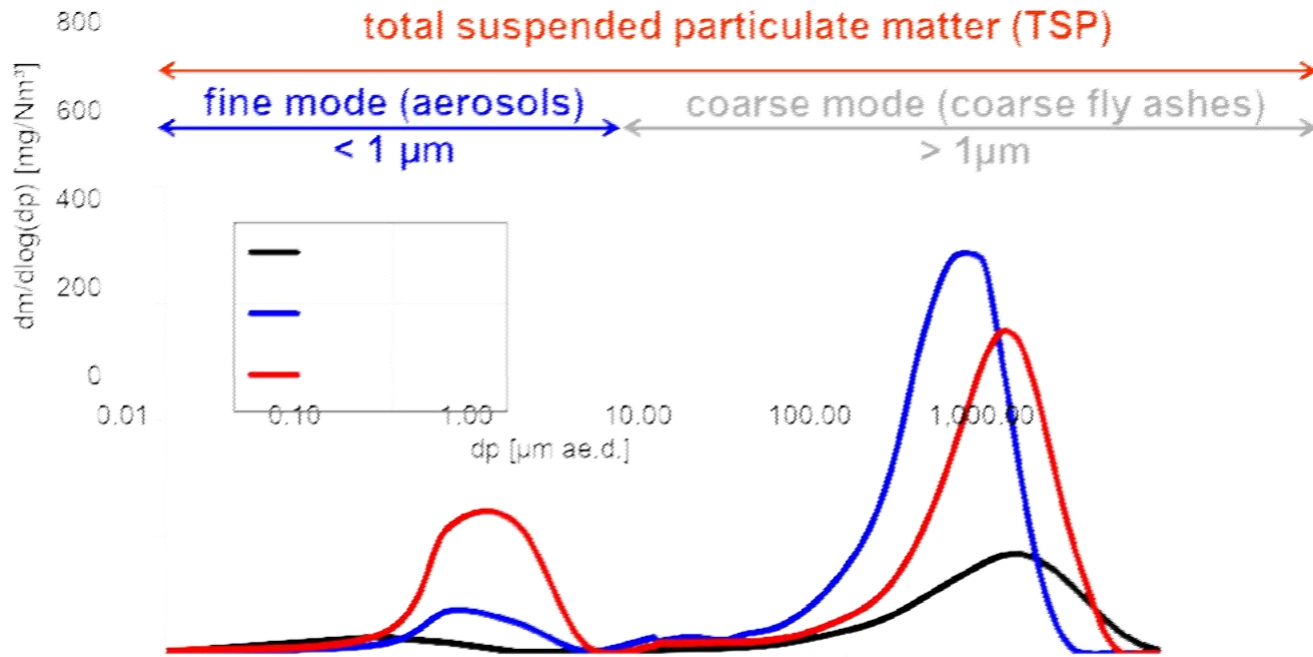
Utjecaj sadržaja kisika/viška zraka



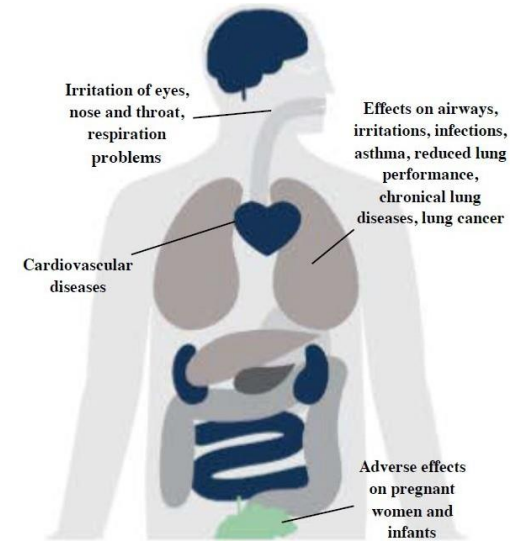
Reference/Source: BEST GmbH, www.best-research.eu



Kategorizacija PM emisija izgaranjem biomase



Reference: [3]



Stvaranje čestica tijekom izgaranja biomase

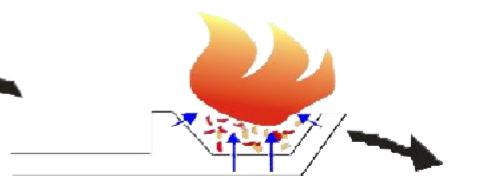
coarse fly ashes



small amount of coarse fly ashes
are emitted



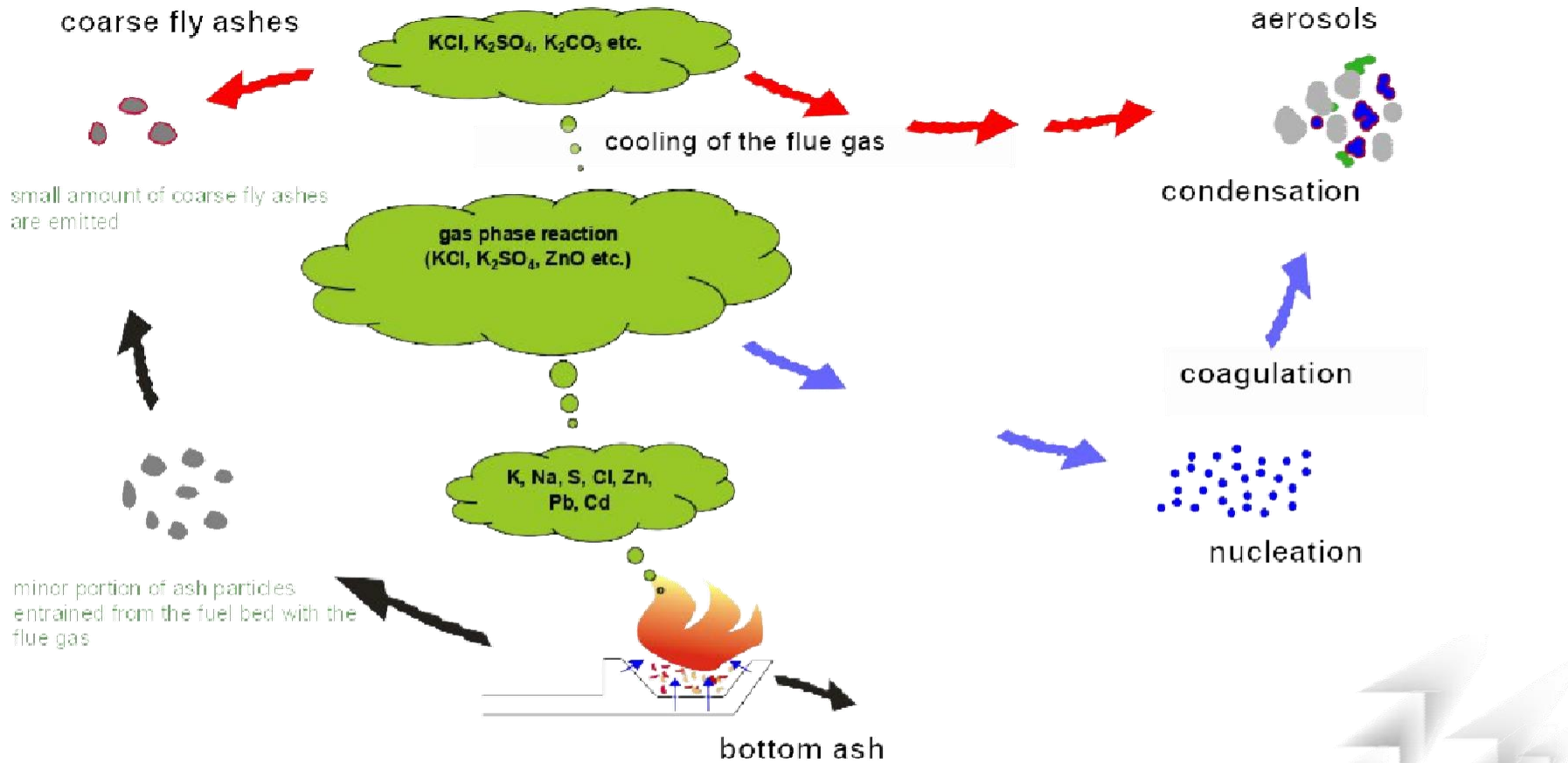
minor portion of ash particles
entrained from the fuel bed with the
flue gas



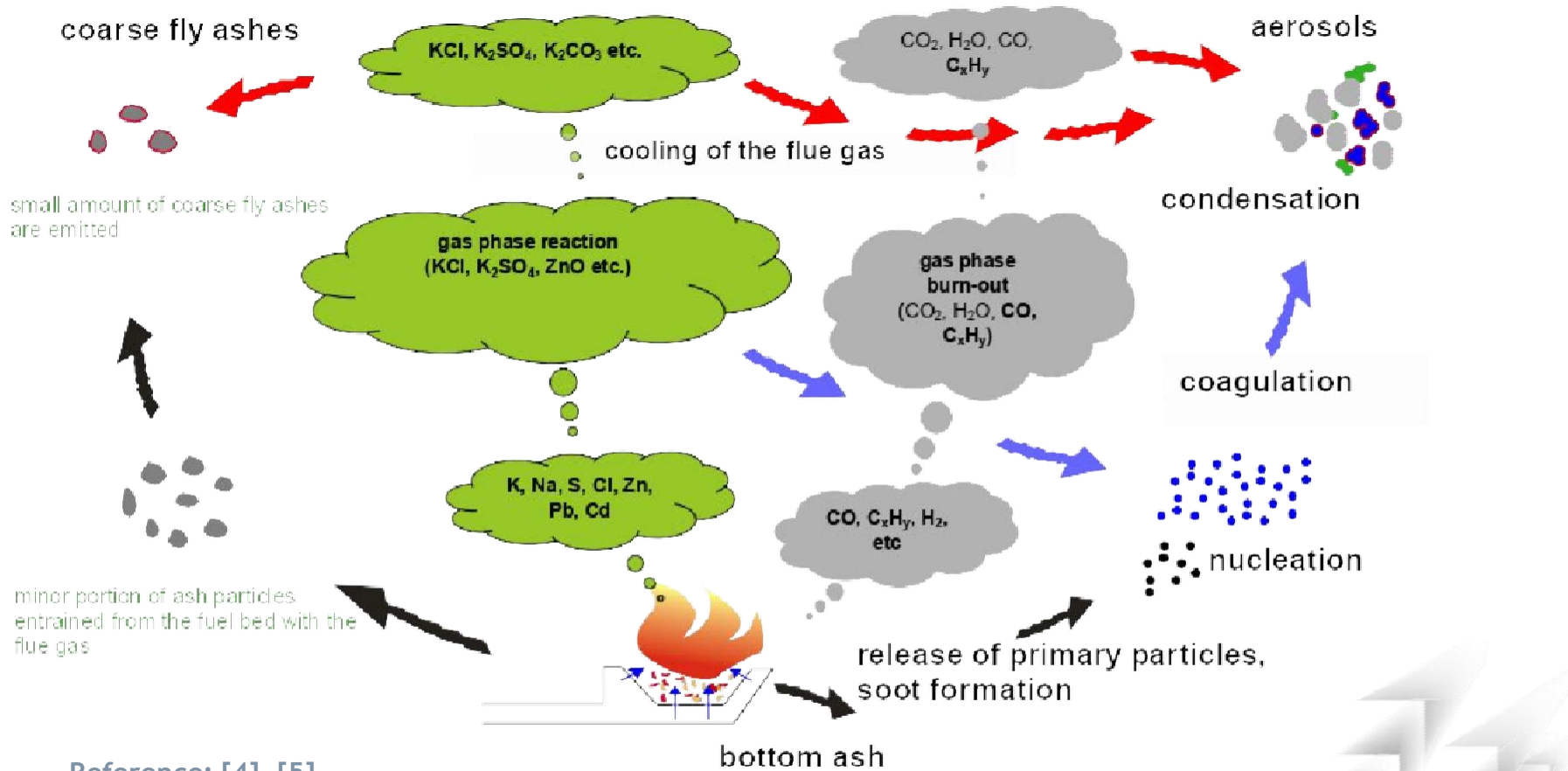
bottom ash



Stvaranje čestica tijekom izgaranja biomase



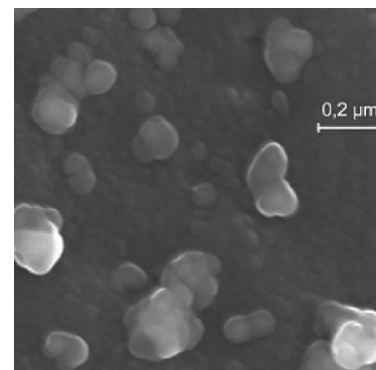
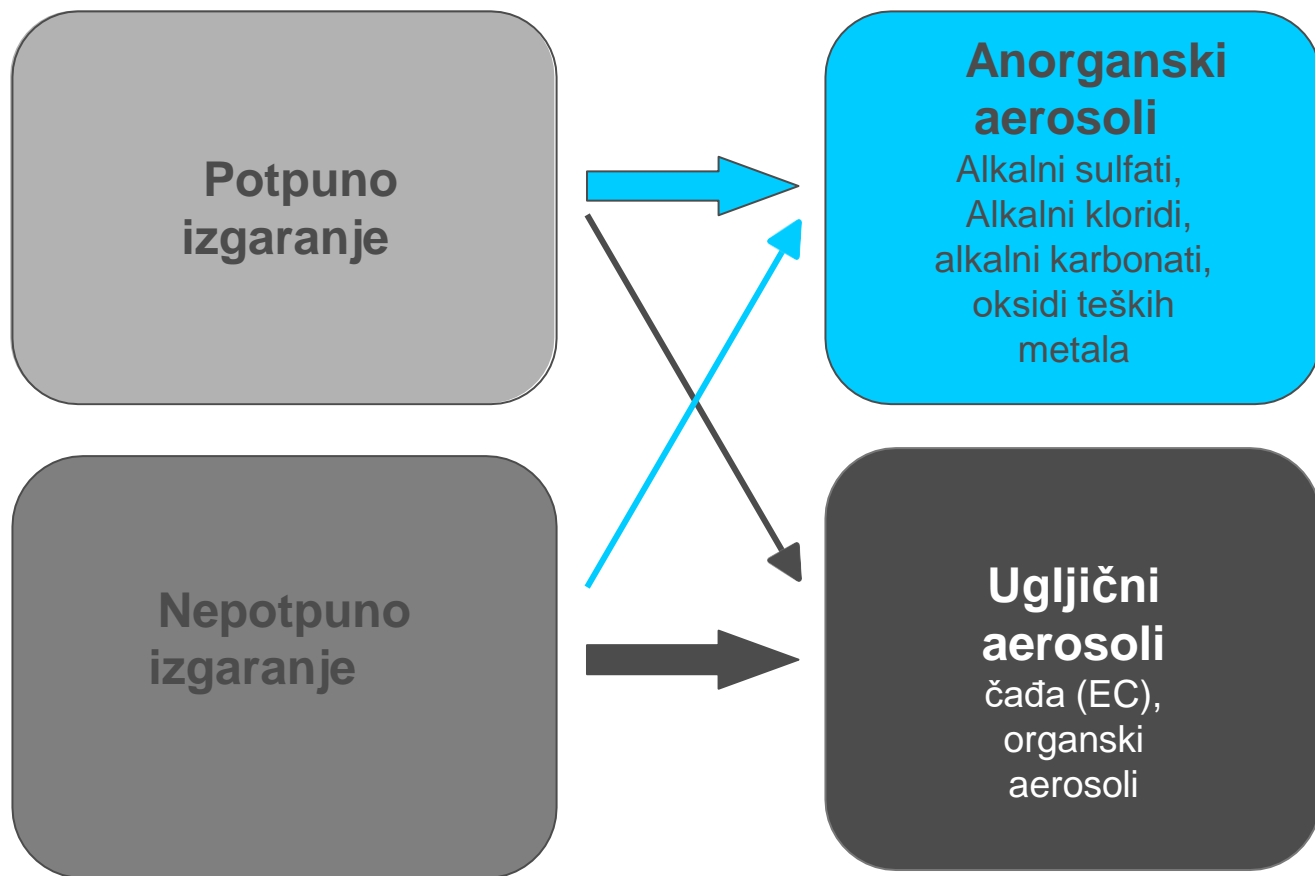
Stvaranje čestica tijekom izgaranja biomase



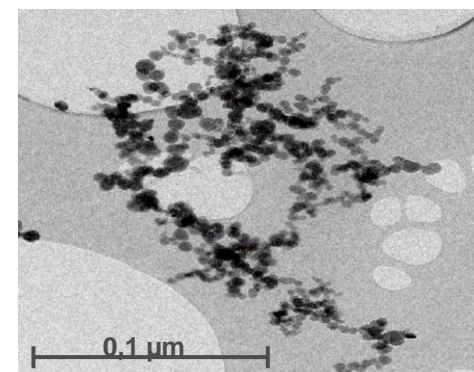
Reference: [4], [5]



Stvaranje aerosola tijekom izgaranja biomase



Source: Graz University of Technology



Source: University of Eastern Finland



Reference: [3]

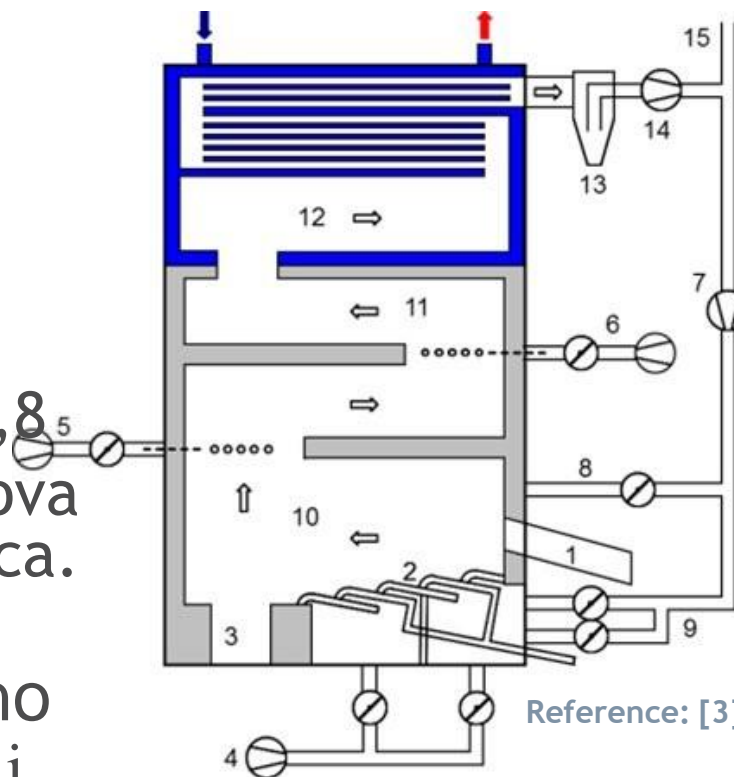
Primarne mjere smanjenja emisija - insenacija zraka

Postupno ubrizgavanje primarnog i sekundarnog zraka za izgaranje u odvojenim zonama (komore za izgaranje)

Odnos viška zraka (λ) u primarnoj komori za izgaranje između 0,6 i 0,8

Vrijeme zadržavanja dimnih plinova u primarnoj komori za izgaranje cca. 0.3 - 0.5 s

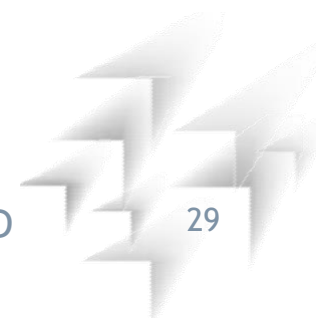
Nisko λ u komori za sekundarno izgaranje \hookrightarrow nizak omjer viška zraka i zaostali sadržaj kisika u dimnim plinovima



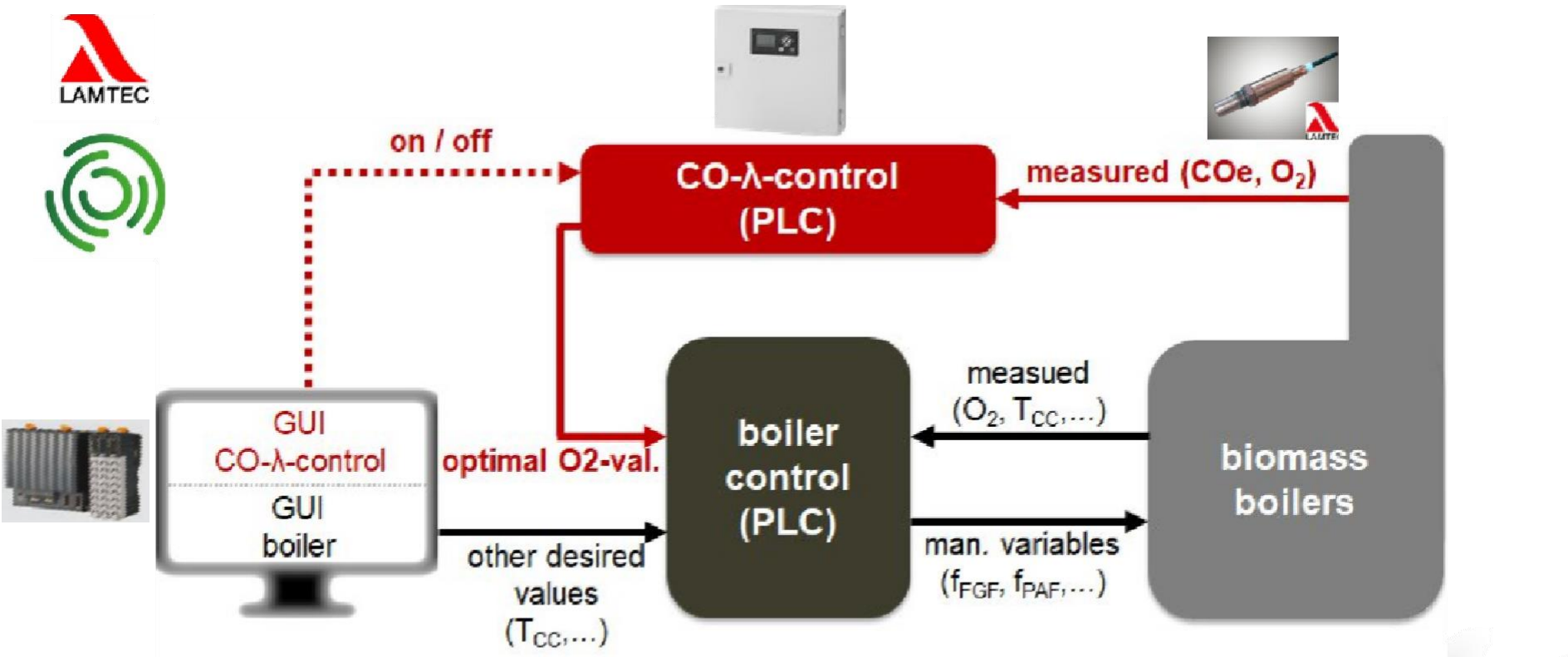
Primarne mjere za smanjenje emisija - kontrola procesa

Ț Sustavi za kontrolu procesa (PCS) moraju udovoljavati zahtjevima sustava izgaranja u svim fazama rada

Ț Primjena naprednih PCS-a (npr. Upravljanje temeljeno na modelu, CO-λ-kontrola, kontrola temperature itd.)



Primarne mjere za smanjenje emisija - CO-λ-kontrola

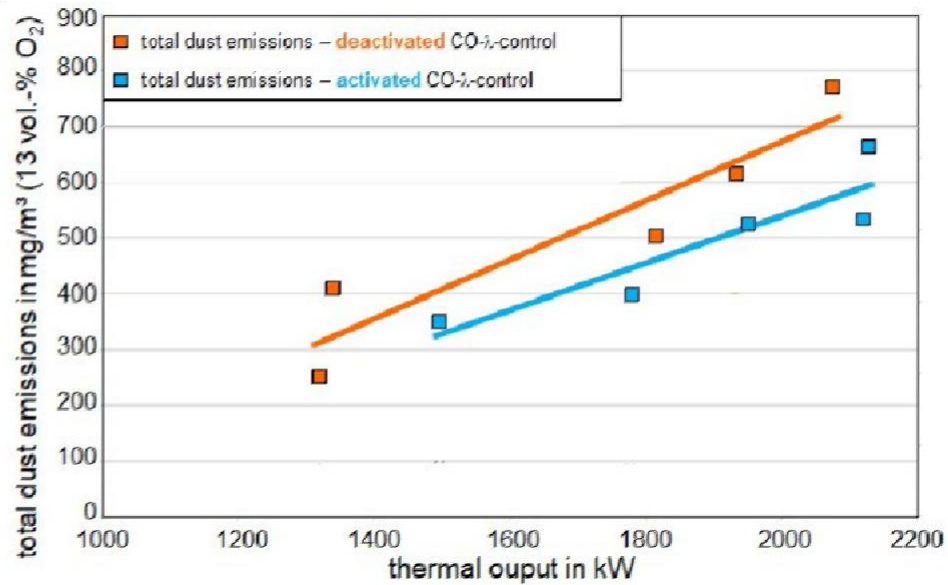
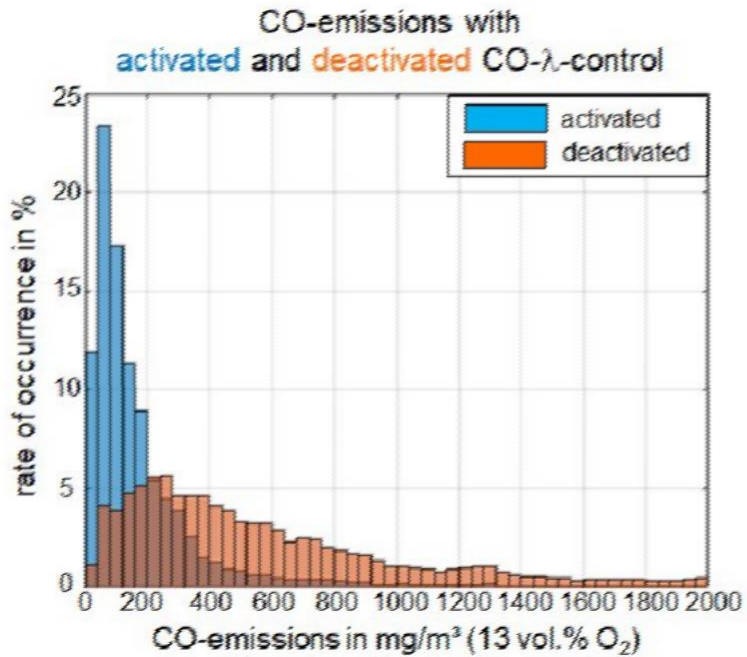


Reference/Source: BEST GmbH, www.best-research.eu



Reference: [6]

Primarne mjere za smanjenje emisija - CO- λ -kontrola



Reference/Source: BEST GmbH, www.best-research.eu

Contact: christopher.zemann@best-research.eu



Reference: [6]

TAKING COOPERATION FORWARD

31

Primarne mjere za smanjenje grubog lebdećeg pepela

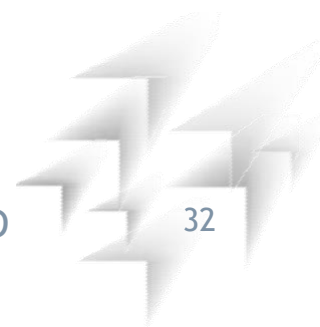
Minimiziranje privlačenja čestica

↳ Optimizirana rešetka i zona primarnog izgaranja

- neometani sloj goriva s malim brzinama zraka za izgaranje u ležištu goriva
- male brzine dimnih plinova u sloju i izlazu iz primarne zone izgaranja
- Zone razdvajanja

↳ Male brzine dimnih plinova

↳ Oštri zavoji smjera strujanja dimnih plinova

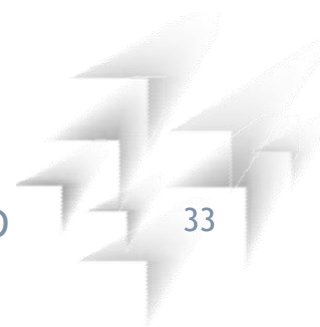


Primarne mjere za smanjenje aerosola koji sadrži ugljik

Optimizacija kvalitete sagorijevanja

Provedba odgovarajućeg koncepta usporavanja zraka predstavlja osnovu za postizanje poboljšanog izgaranja u plinskoj fazi

Dovod zraka dovodi do značajnog smanjenja čađe (elementarnog ugljika) i organskih aerosola, kao i plinovitih emisija (CO, TOC, NOx)



Primary mjere za smanjenje anorganskog aerosola

↳ Inhibicija oslobađanja elemenata koji stvaraju pepeo dovodi do daljnjeg smanjenja anorganskih aerosola

↳ Otpuštanje kalija glavni je interes za sustave izgaranja biomase

↳ Temperatura goriva mora biti što niža

↳ Niske brzine dimnih plinova

↳ Oštre zavoje smjera strujanja dimnih plinova



Rad toplane

Ț Tehnologija izgaranja mora biti na odgovarajući način prilagođena kvaliteti goriva (vrsta goriva, sadržaj vlage, sastav goriva, sadržaj pepela itd.)

Ț Temperatura izgaranja

- Ț Preniska temperatura izgaranja ☾
Visoke CO i OGC emisije, slabo izgaranje ugljena
- Ț Previsoka temperatura izgaranja ☾
Problemi sa stvaranjem naslaga
- Ț Upravljanje recirkulacijom dimnih plinova i / ili ohlađenim površinama



Rad toplane

繇 Miješanje i vrijeme zadržavanja

繇 Homogena raspodjela goriva preko ležišta goriva

繇 Dovod i distribucija zraka radi smanjenja emisija

繇 Miješanje dimnih plinova

繇 Relevantno za potpuno izgaranje plinova

繇 Postignuto odgovarajućim dizajnom geometrije, broja i položaja mlaznica za dovod sekundarnog zraka kao i geometrije peći

繇 Vrijeme zadržavanja dimnih plinova u vrućoj peći trebalo bi biti dovoljno dugo da se postigne potpuno izgaranje plinova



Rad toplane

Ț Sustav za kontrolu procesa

Ț Kontrola opterećenja: gladak rad, izbjegavajte “stani i kreni”

Ț Regulacija izgaranja Regulacija izgaranja za odgovarajuće omjere viška zraka I

Ț Previše nisko I ☾ visoke emisije CO i TOC Previsoko I ☾

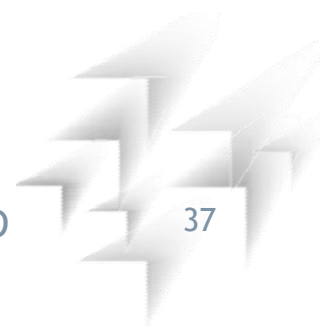
Ț viši CO, povećani protoci dimnih plinova, smanjena toplinska učinkovitost, povećan unos čestica iz ležišta goriva, veće emisije PM

Ț Kontrola temperature

Ț Izbjeći stvaranje naslaga

Ț kako bi se zajamčilo potpuno izgaranje

Ț Regulacija tlaka



Rad toplane

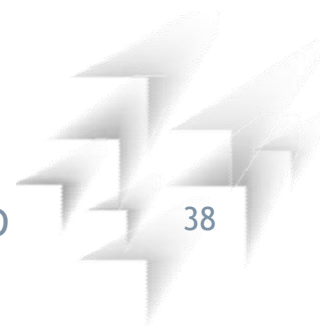
┆ Pravilno dimenzioniranje sustava daljinskog grijanja

┆ hidraulični sistem

┆ sustav izgaranja

┆ upravljanje među spremnikom

┆ DH mreža (temperature sustava, nadređena kontrola, integracija drugih izvora energije)



Rad toplane

繇 Razno

繇 Minimizacija lažnog zraka

繇 Servis i čišćenje

繇 minimizirajte rizike od korozije

繇 Postavljanje senzora

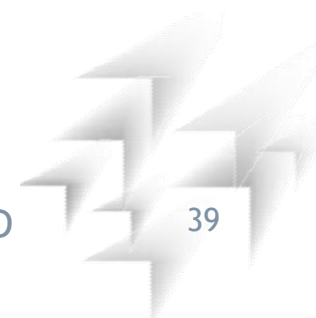
繇 CFD simulacije, alat za dizajn koji štedi vrijeme i troškove

繇 Povećajte fleksibilnost različitim mjerama



繇 Pilot projekt ThermaFLEX

TAKING COOPERATION FORWARD

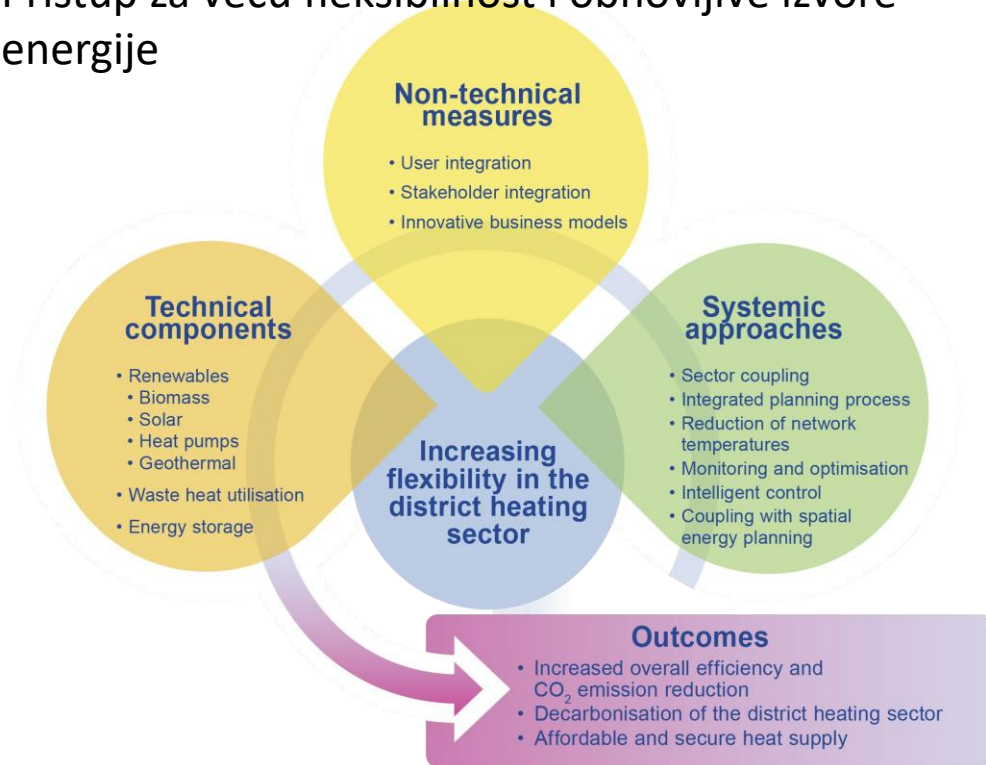


Primjer dobre prakse -Austrijski opsežni istraživački projekt THERMAFLEX koji pokazuje nula CO₂ u sustavima daljinskog grijanja

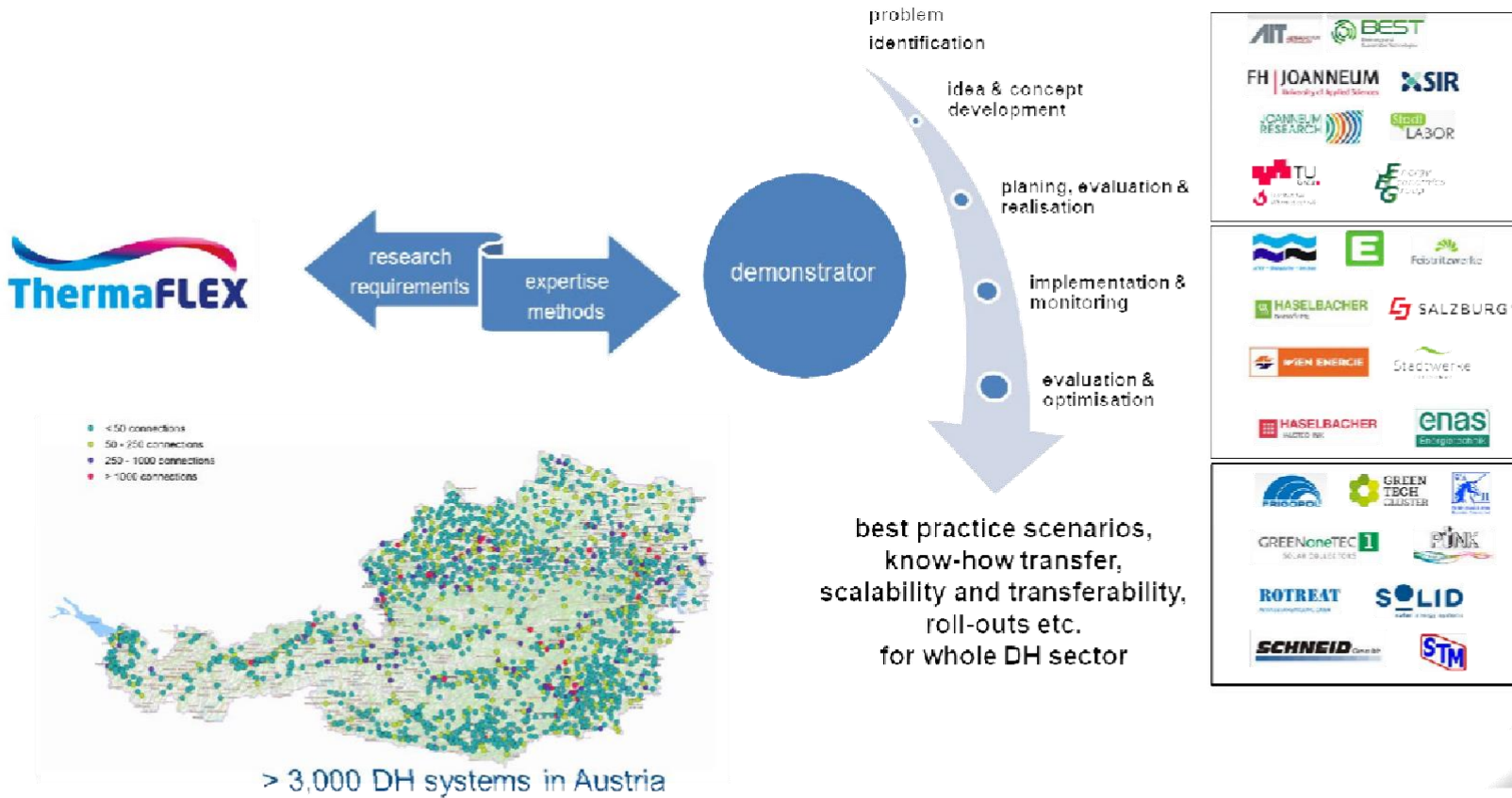
Pristup za veću fleksibilnost i obnovljive izvore energije



<https://thermafex.greenenergylab.at/>



THERMAFLEX - lanac vrijednosti





Cijena ovisi o neto kalorijskoj vrijednosti (težini i udjelu vlage)

| Cijena u EUR/MWh | Udio vode u % | Drvena sječka EN ISO 17225 | kWh/četinjača bor) | kWh/listopadni) | EUR/da se apsolutno osuši (četinjače) pri 0% sadržaja vode | EUR / do apsolutno suhog (listopadnog) pri 0% sadržaja vode |
|------------------|---------------|----------------------------|--------------------|-----------------|--|---|
| 20 | 0 | 1 to absolutely dry | 5278 | 5000 | 105,56 | 100,00 |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Udio vlage [%] | 31 |
| kWh/četinjača bor | 3.431,56 |
| kWh/ listopadni bor | 3.239,89 |
| cijena €/ za mokri bor četinjače | 68,63 |
| cijena €/ za mokro listopadno drvo | 64,80 |
| | |

Kalorična vrijednost ovisi o udjelu lignina:

→ Četinjača bor = 19 J/kg

→ Listopadni bor = 18 J/kg

Primjer:

Dostava 100 tona svježeg drveta, cijena 100 EUR / za apsolutno suho drvo:

Sadržaj vode $w = 31\%$ 69 tona apsolutno suhog drveta (sadržaj vode = 0%)

Opskrba drvne industrije (celuloza i papir): 69 tona 100 EUR = 6.900 EUR

Opskrba toplane:

100 tona svježeg drva * 64,80 = 6.480 EUR

= 323,99 MWh * 20 EUR/MWh

Razlika zbog vrućine isparavanja za pretvaranje vode u plin

Kupnja Biomase

Kvaliteta i drvni sortimenti

- Drva sa rupama i granjem te lišćem
- Trupci
- Drvna sječka

Jedinice i mjesto prodaje

- EUR/MWh
 - cijena isporučene biomase plaćena nakon vaganja i kvantificiranja sadržaja vlage
 - očitano nakon mjerača topline - energija se prodaje izravno u toplani
- EUR/tona apsolutno suho ili mokro
- EUR/m³ (drveća, trupci ili drvna sječka) – srušena stabla ili drvna sječka uskladištena kraj toplane

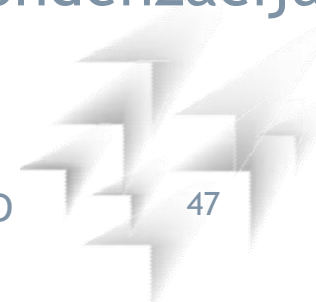
Uspjeh opskrbe gorivima iz drvne biomase ovisi o:

- Vrsti drva i sadržaju vlage (sezonski / prirodno sušenje ili tehničko sušenje)
- Fine čestice (kora)
- Dostava ljeti i zimi → ugovori-odgovornosti za isporuku
- Skladištenje
 - Potrebno srednje skladište?
 - Iznajmljivanje skladišnog prostora
 - Dodatni transportni i logistički napori
- Količina drva i udaljenost do kupca (učinkovita upotreba strojeva i optimizirani logistički lanac)
- Transportna jedinica (traktorska prikolica ili kamion)
- Dostava tijekom godine
- Ograničavajući faktori: zimi planine nisu dostupne, drva su pod snijegom, poplava u proljeće

- Energija dobivena izgaranjem drvne biomase dosegla je u Austriji najmoderniji standard;
- Kvaliteta goriva igra odlučujuću ulogu, osobito za postrojenje malog kapaciteta;
- Drvo nije uvijek isto kada se radi o energetskej koristi;
- Presudan faktor za visoki energetskej prinos jest udio vlage vode, nakon čega slijedi vrsta drva i veličina drva koje se koristi;
- Kako bi se osigurala visoka kvaliteta ogrjevnog drva potrebno je odgovarajuće skladištenje
- Gorivo iz drvne biomase mora se osušiti u što kraćem vremenu na udio od najviše 20%, što je potrebno za idealno gorenje



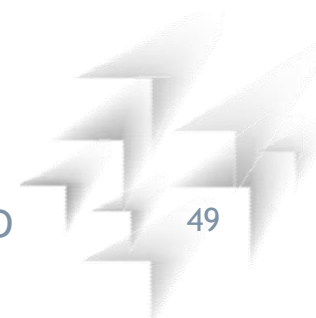
- Udio vode najvažnija je stavka kvalitete, obzirom da je važna za energetske vrijednost i za svojstva skladištenja goriva;
- Svježa drvena sječka ima udio vode veći od 50% i nije prikladna za dugoročno skladištenje ili energetske korištenje u malim i srednje velikim sustavima grijanja na drvnu biomasu;
- U većim okružnim toplanama i industrijskim postrojenjima za spaljivanje, primjena vrlo mokre drvne sječke korisna je i normalna iz ekonomskih razloga;
- Niska razina emisija i učinkovito izgaranje osigurano je njihovom tehničkom opremom (npr. čišćenje dimnog plina, kondenzacija dimnog plina).



- Osiguranje kvalitete i ocjena kakvoće su neophodni za kontinuirano osiguravanje visoke kvalitete drvnih goriva;
- Kvaliteta se može osigurati primjenom normi i/ili certificiranjem;
- Drvna goriva po svojoj prirodi, vrlo su različita u vidu njihovih svojstava po pitanju gorenja;
- Proizvođačima i potrošačima nije uvijek moguće identificirati odgovarajuće karakteristike kvalitete;
- Goriva su specifične kvalitete mogu biti proizvedena jedino ako su promatrani kriteriji poznati, provjerljivi i odobreni.



- 1 ... Solid Biomass for Thermal Energy, Lecture at Graz University of Technology
- 2 ... Nussbaumer T. Aerosols from Biomass Combustion - Technical report on behalf of the IEA Bioenergy Task 32, ISBN 3-908705-33-9
- 3 ... Kelz J, Presentation at II International Conference on Atmospheric Dust - DUST 2016 Castellaneta Marina, Italy
- 4 ... Kelz J, Brunner T, Obernberger I. Emission factors and chemical characterisation of fine particulate emissions from modern and old residential biomass heating systems determined for typical load cycles, Environmental Sciences Europe 2012, 24:11
- 5 ... Kelz J, Brunner T, Obernberger I, Hirvonen M-R, Jalava P. PM emissions from old and modern biomass combustion systems and their health effects. Proc. of the 18th European Biomass Conference and Exhibition, May 2010, Lyon, France, ISBN 978-88-89407-56-5, pp. 1231-1243, ETA-Florence Renewable Energies (Ed.), Lyon, France
- 6 ... <https://www.best-research.eu/de/kompetenzbereiche/anlagenregelungstechnik/projekte/view/413>
Contact persons for CO-λ-control: christopher.zemann@best-research.eu (+ 43 5 02378-9227),
markus.goelles@best-research.eu (+ 43 5 02378-9208), fischer@lamtec.de (+49 6227 6052-39)



HVALA NA POZORNOSTI!



Martina Krizmanić Pećnik
Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske
Andrije Žaje 10, Zagreb



www.interreg-central.eu/entrain



mkpecnik@regea.org



@ENTRAIN_project
@RegeaAgency

