



Токсичне компоненте

ТРОШЕЊЕ
ОЗОНСКОГ
ОМОТАЧА

N_2O

КИСЕЛЕ КИШЕ
КИША

SO_x

NO_x

ФОТОХЕМИЈСКИ
ОКСИДАнти
(ВИДЉИВОСТ)

ИСПАРЉИВЕ ОРГАНСКЕ МАТЕРИЈЕ

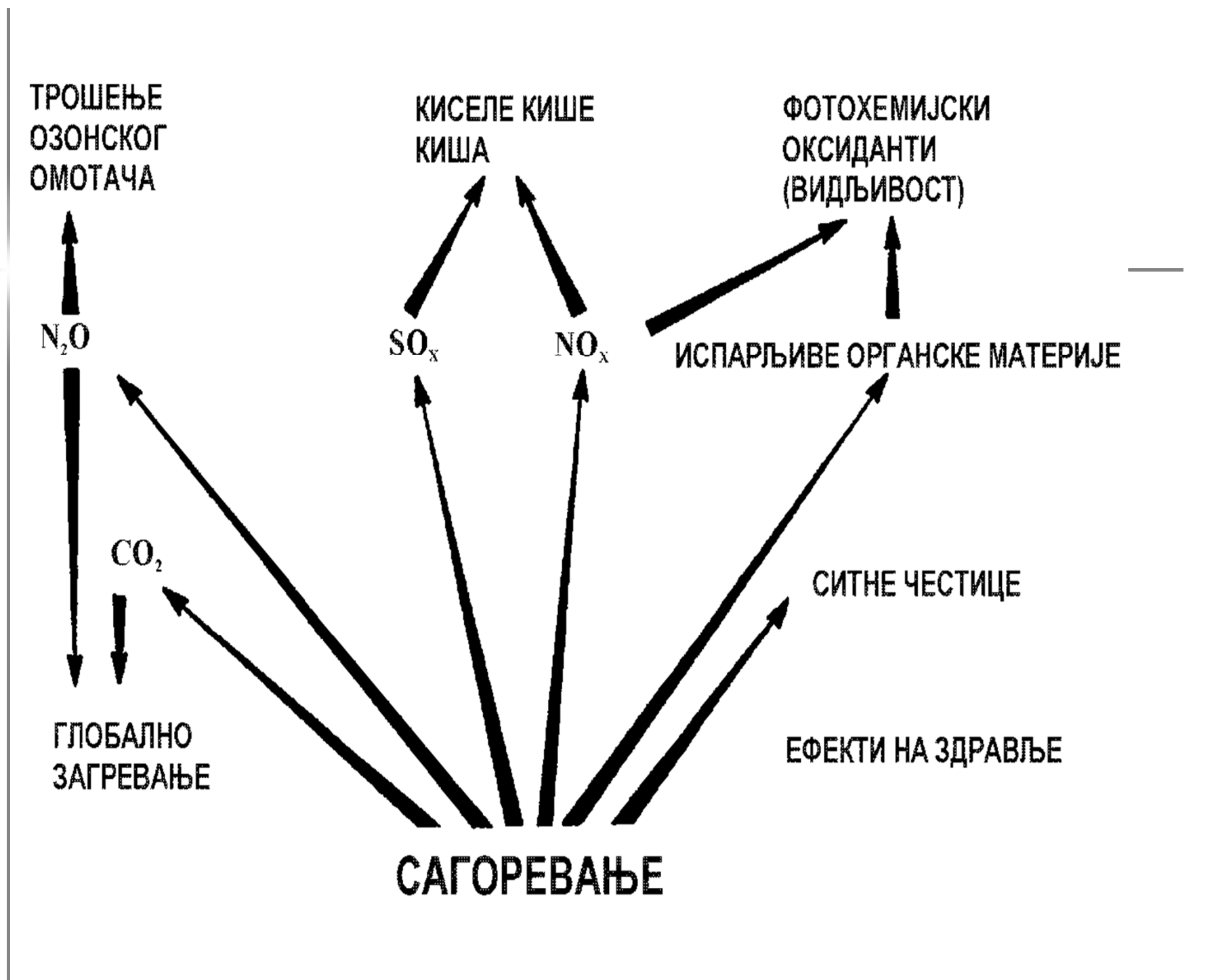
CO_2

ГЛОБАЛНО
ЗАГРЕВАЊЕ

СИТНЕ ЧЕСТИЦЕ

ЕФЕКТИ НА ЗДРАВЉЕ

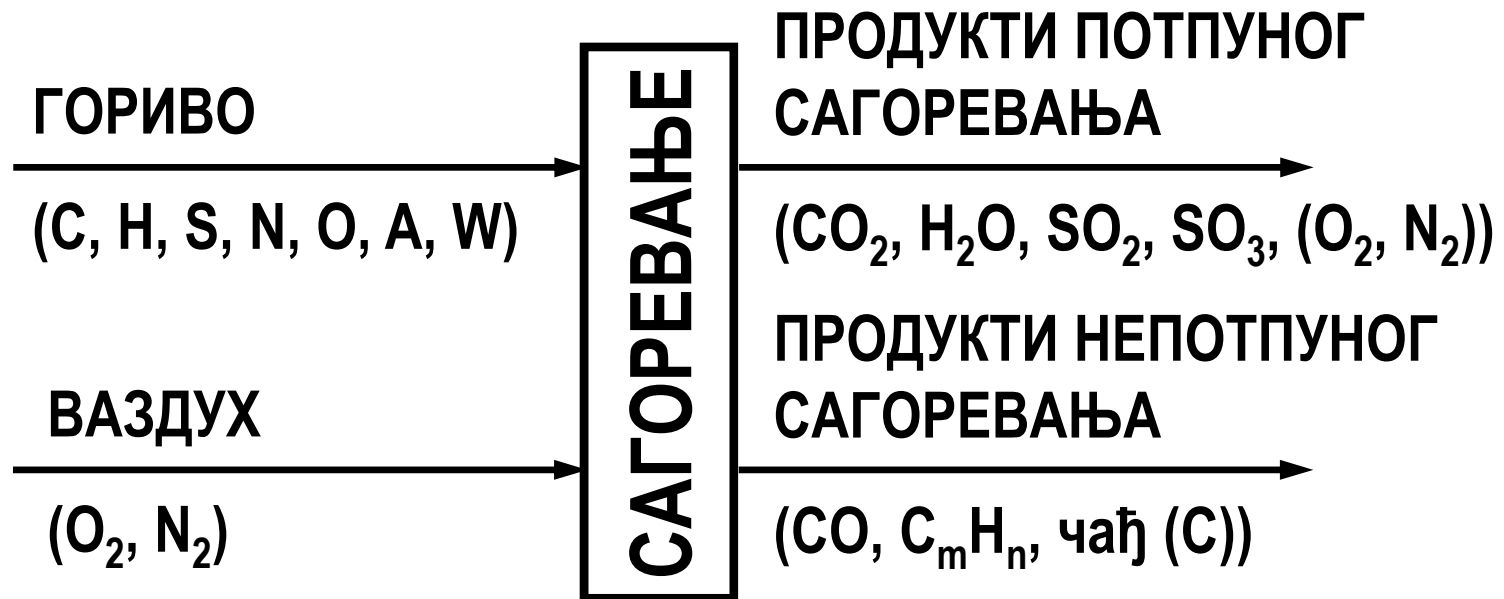
САГОРЕВАЊЕ



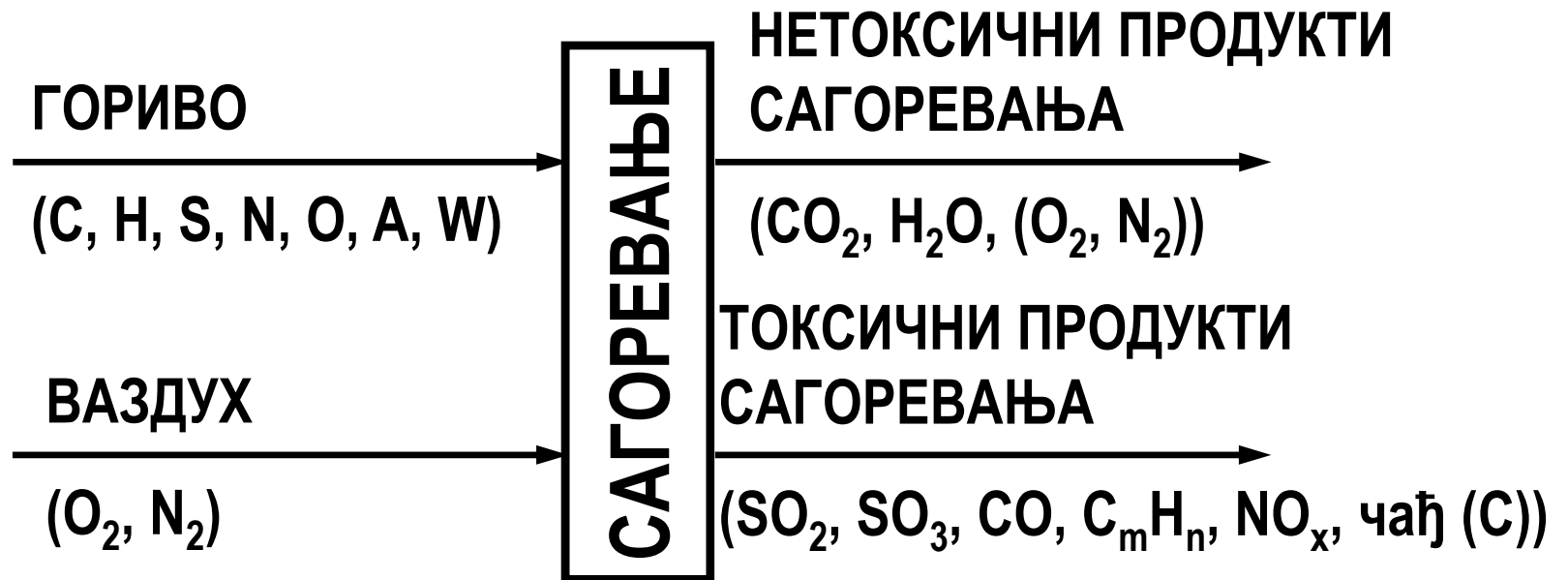
Класификација продуката сагоревања

- према критеријуму потпуности процеса сагоревања
 - потпуно/непотпуно сагоревање
- према критеријуму токсичности
 - токсични/нетоксични
- према агрегатном стању
 - гасовити/течни/чврсти
- према времену настајања
 - примарни/секундарни
- према извору загађења
 - стационарни/нестационарни
- према врсти горива
 - чврста/течна/гасовита

Продукти сагоревања – класификација по критеријуму потпуности сагоревања

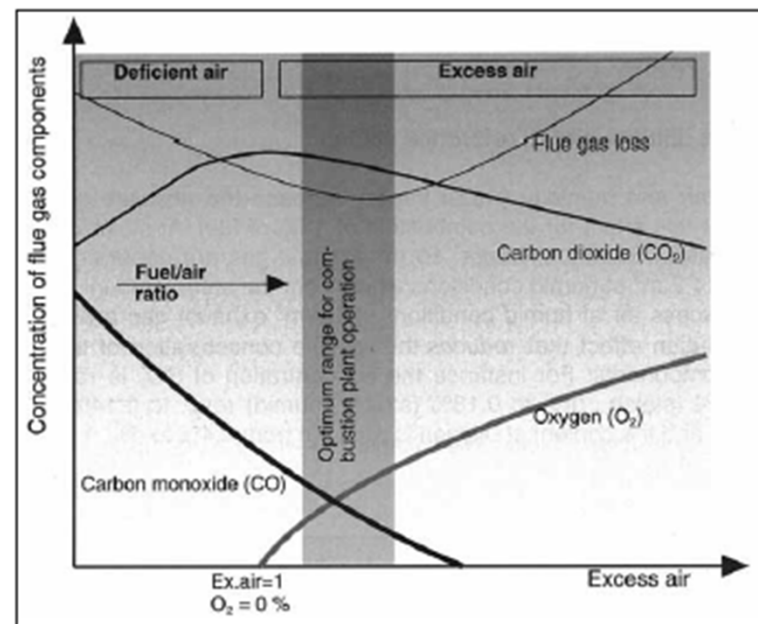


Продукти сагоревања – класификација по критеријуму ТОКСИЧНОСТИ



Састав продуката сагоревања

- Начин и квалитет мешања горива и ваздуха
- Конструкција горионика/коморе за сагоревање (ложишта)
- Услови размене топлоте са околином.



Најважније загађујуће материје

- угљен моноксид
- несагорели угљоводоници или делимично сагорели угљоводоници, као што су алдехиди
- сумпорни оксиди
 - SO_2
 - SO_3

Најважније загађујуће материје

- азотни оксиди (NO_x)
 - NO
 - NO_2
- чврсте честице
 - чађ
 - шљака
 - летећи пепео
 - тешки метали
- гасови стаклене баште – посебно CO_2 и N_2O

Угљен моноксид и несагорели угљоводоници

- недовољна количина ваздуха
 - недовољно висока температура сагоревања
 - недовољно време
 - лоше мешање горива и ваздуха
-
- CO – токсичан, спречава везивање кисеоника са хемоглобином, може довести и до смрти
 - C_mH_n – токсични, а неки су и канцерогени.

Азотни оксиди

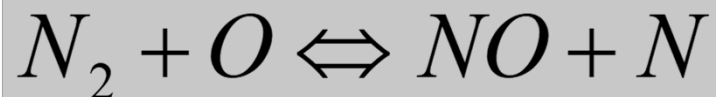
- настају од
 - азота у ваздуху
 - азота у гориву
- најважнији су NO и $\text{NO}_2 - \text{NO}_x$
- NO_3 , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5 – у малим концентрацијама, утицај занемарљив
- азот субоксид (N_2O) – потпуно другачији утицај и посебно се проучава.
 - утичу на појаву киселих киша и фото хемијског смога, образовање озона и оштећење озонског омотача.

Азотни оксиди

- три начина настанка:
 - термички
 - промтни
 - гориви
- термички NO: 5-25% - угаљ, 50-60% - друге врсте горива
- промтни (брзи) NO: мање од 5%
- гориви NO: 70-80%

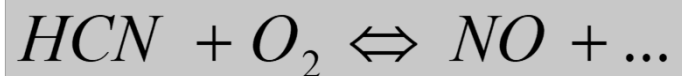
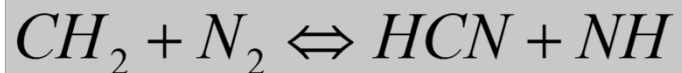
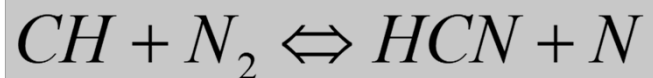
Термички NO

- Настаје реакцијом азота и кисоника из ваздуха при високим температурама које владају у зони пламена.
- Зависи од:
 - температуре,
 - концентрације кисеоника и
 - времена боравка на високим температурама
- Механизам је описао Zeldovich 1948. године

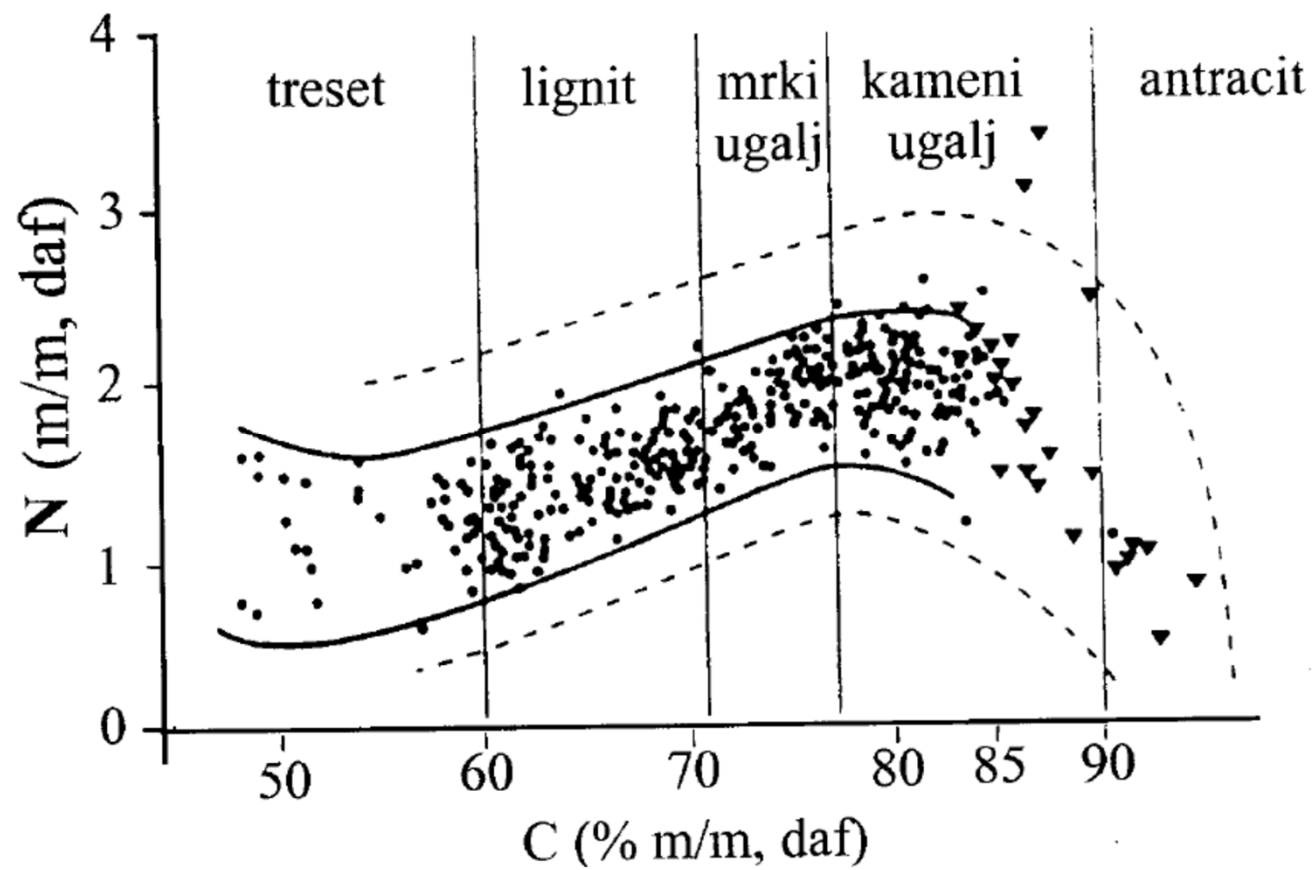


Промптни NO

- Настаје реакцијом молекула азота из ваздуха и слободних радикала (CH, CH₂, C₂, C₂H, C) из горива у близини зоне пламена
- Реакције се одвијају великом брзином, у условима богате смеше и ниских температура



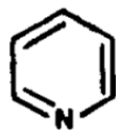
Гориви NO



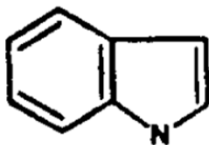
Гориви NO



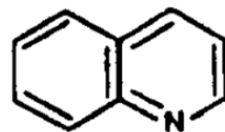
pirol



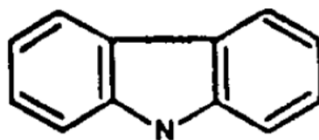
piridin



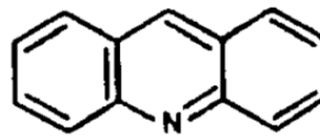
indol



kinolin

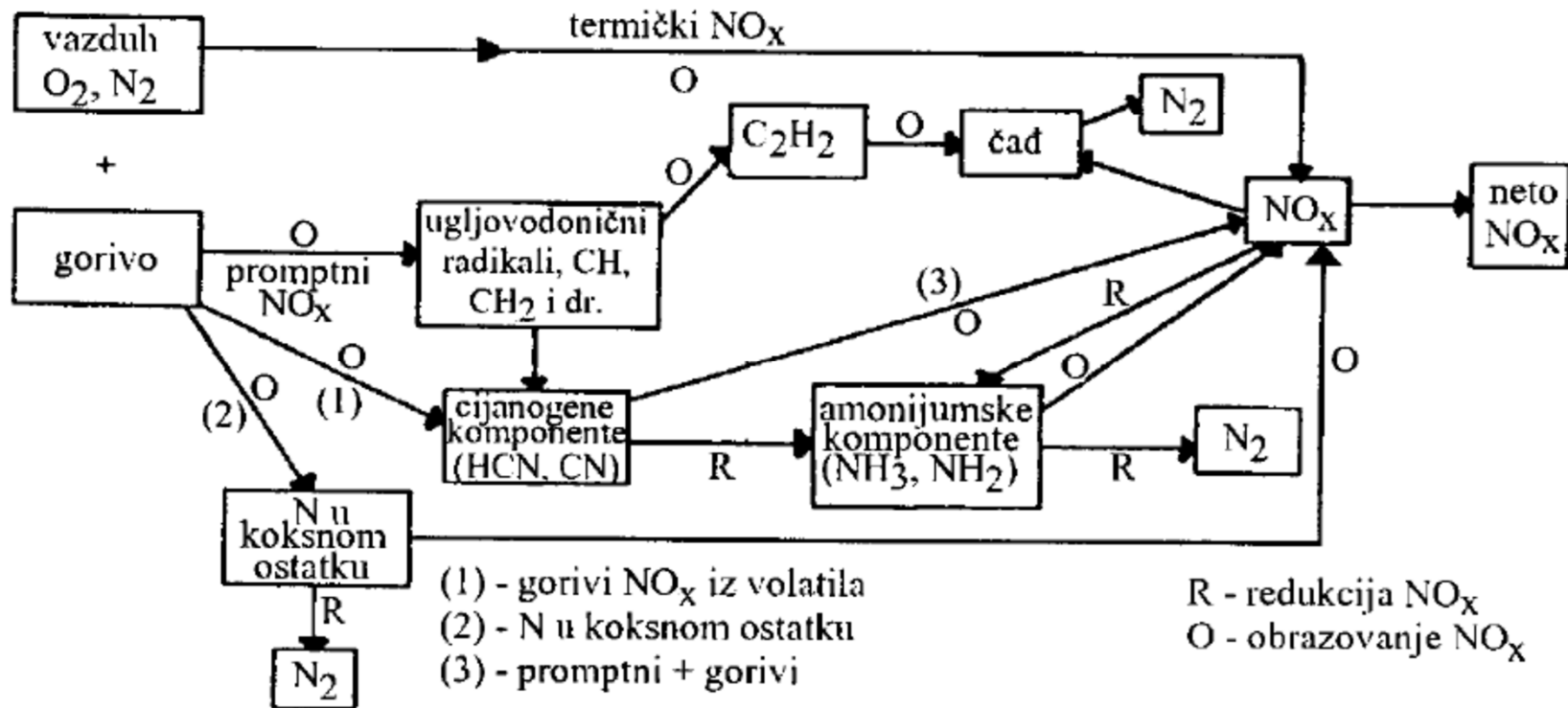


karbazol

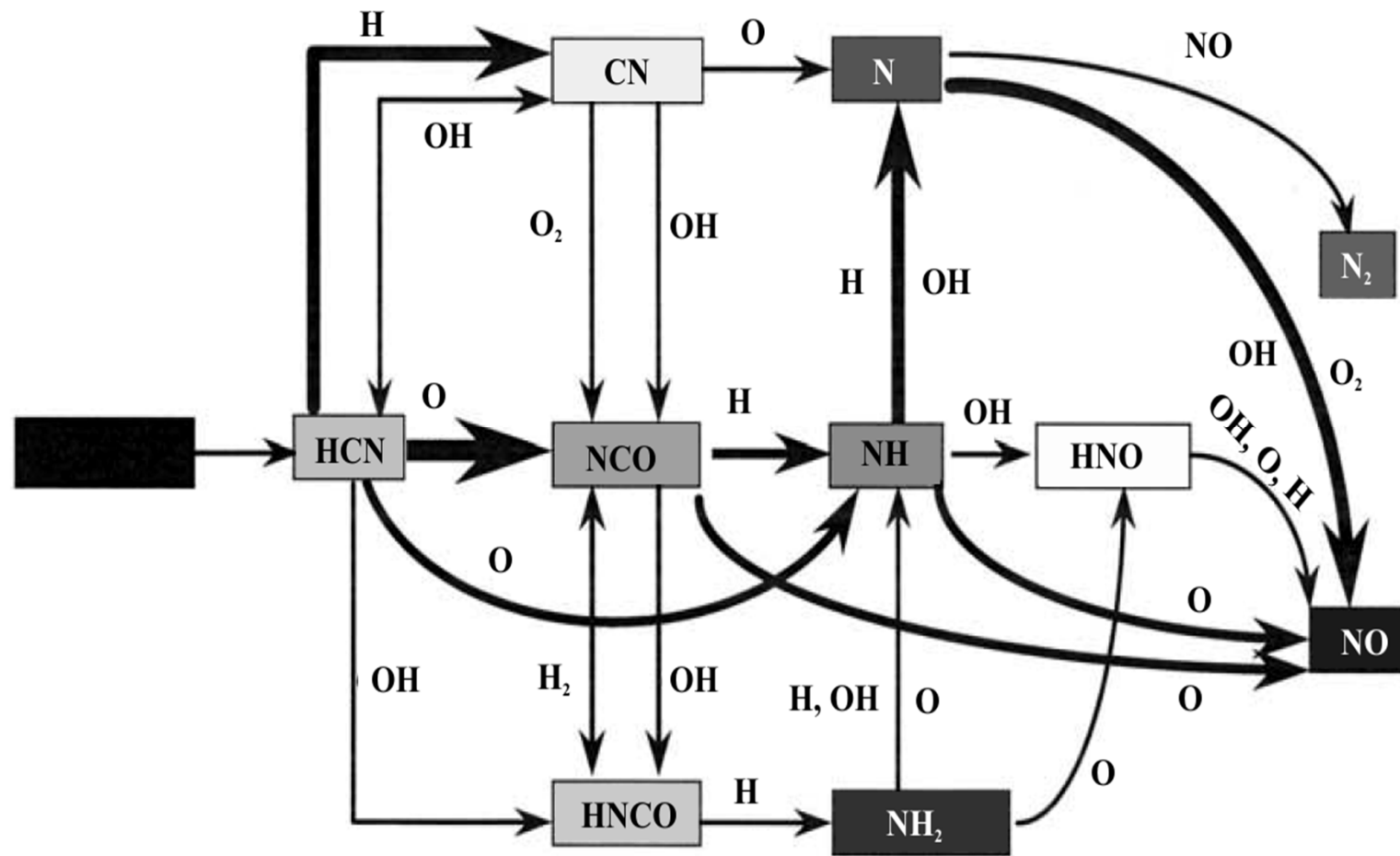


akridin

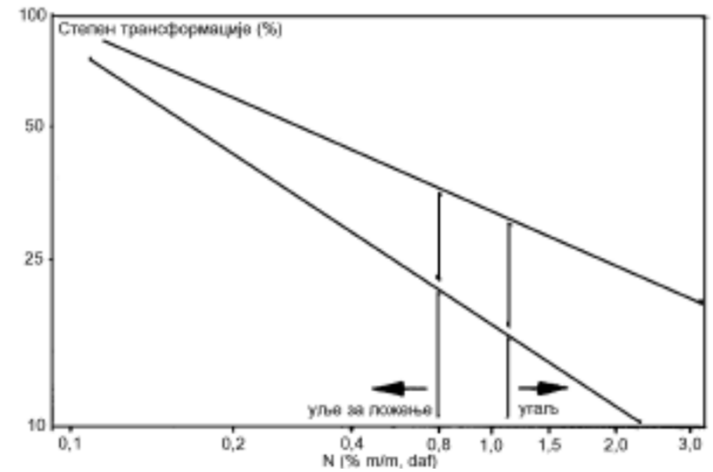
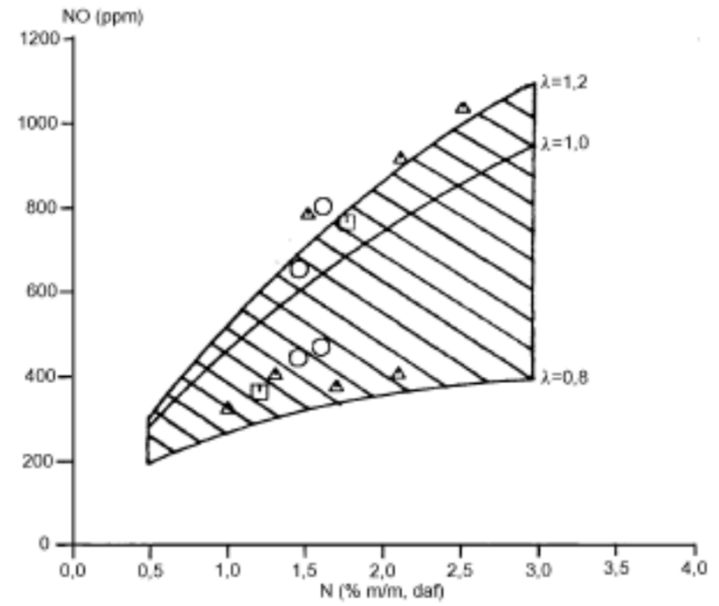
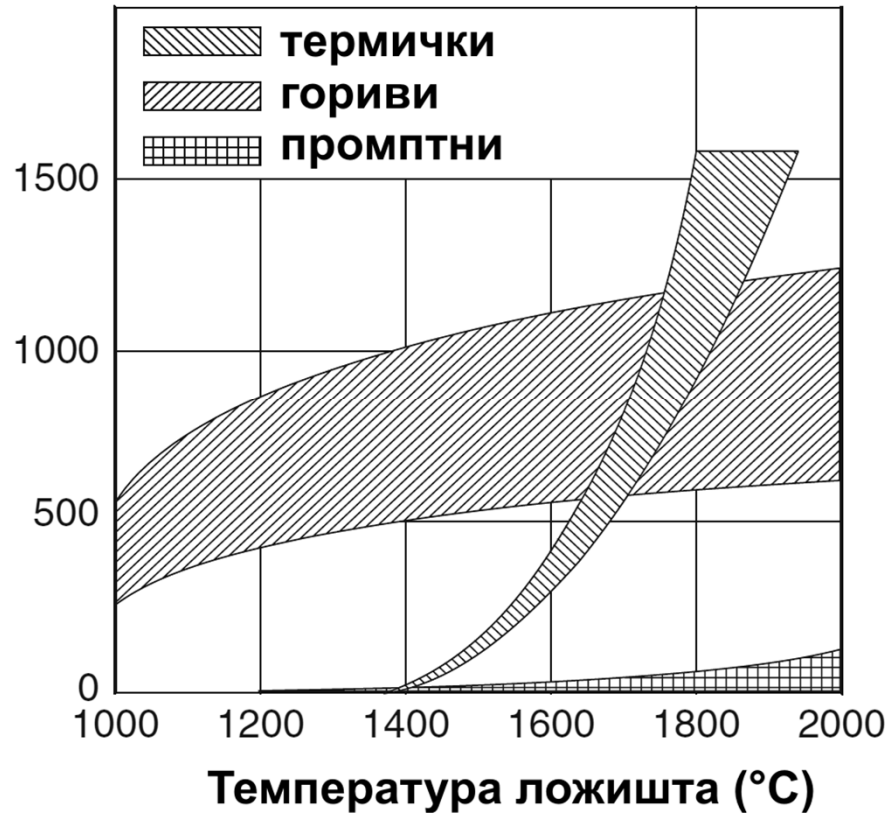
Азотни оксиди при сагоревању угља – модел образовања



Азотни оксиди при сагоревању угља – модел образовања



Концентрација NO_x (mg/m^3)



Конструкција котла	Радни параметри котла	Карактеристике угља
<ul style="list-style-type: none"> • систем за сагоревање (чеони, наспрамни, тангенцијални), • капацитет или називна снага (MCR, MWe или проток водене паре), • врста горионика (конвенционални или са смањеном емисијом NO_x), • број и снага горионика, • брзина ослобађања топлоте у зони горионика, времена боравка, присуство улаза за ваздух за смањење емисије NO_x. 	<ul style="list-style-type: none"> • оптерећење, • број млинова у раду, • вишак ваздуха или кисеоника, • нагиб горионика, • подешавања крилаца за вртложење на горионику. 	<ul style="list-style-type: none"> • садржај волатила, • коефицијент горива (C_{fix}/VM), • топлотна моћ, • однос угљеника и водоника у угљу (C/H), • садржај азота, • брзина деволатилизације.

Сумпорни оксиди

- настају од сумпора у гориву
- SO_2 и SO_3 – стабилни продукти сагоревања
- SO и S_2O – нестабилни продукти сагоревања, утичу на образовање SO_2
- SO_3 – само неколико процената од количине образованог сумпор диоксида

Сумпорни оксиди

- технички проблем
 - утичу на стварање корозије, реагују са воденом паром из продуката сагоревања и настају H_2SO_3 и H_2SO_4
- еколошки проблем
 - појава киселих киша
 - смањење видљивости
 - делују штетно на дисајне органе, чак и у малим концентрацијама
 - ометају процес фотосинтезе код биљака

Чврсте честице

- чађ (несагорели угљеник)
 - шљака (до 30%, велики термички губици)
 - летећи пепео (велики извор механичког загађења)
 - тешки метали
-
- врста горива (садржај минералних примеса, присуство адитива)
 - квалитет процеса сагоревања (непотпуно сагоревање)
 - врста постројења (нерегуларан рад постројења)

Гасови стаклене баште

- гасови који омогућавају сунчевој светлости да продре до земљине површине уз делимично спречавање инфрацрвеног излучивања планете у атмосферу
 - угљен диоксид (CO_2)
 - метан (CH_4)
 - азот субоксид (N_2O)
 - флуороугљоводоници (HFCs)
 - перфлуороугљоводоници (PFCs)
 - сумпор хексафлуорид (SF_6)

Гасови стаклене баште – CO₂

- 50% у укупној емисији ГСБ насталих деловањем човека
- 28 билиона тона емисија CO₂ у 2001. години
- 4 t CO₂ по становнику планете

Гасови стаклене баште – CO₂

- пораст концентрације CO₂ у атмосфери око 0,5% годишње
- CO₂ концентрација до краја 21 века: 540-970 ppm (сада око 360 ppm)
- пораст температуре од 1,4-5,8°C (у односу на 1990.)
- пораст нивоа мора: 9-88 cm (у односу на 1990.)

Гасови стаклене баште – CO₂

	Популација (%)	Потрошња енергије (%)	CO ₂ емисија (t CO ₂ /станов.-год.)
Индустријски развијене земље	15	50	13
Бивше социјалистичке земље	8	26	13
Земље у развоју	77	24	24

Коефицијент емисије CO₂

KE_{CO2} (kg CO₂/GJ)

■ Камени угаљ	86,79
■ Мрки угаљ	93,84
■ Лигнит	94,50
■ Моторни бензин	73,40
■ Керозин	72,70
■ Дизел гориво	75,90
■ Уља за ложење	80,50
■ Природни земни гас	73,90

Начини смањења загађења ваздуха

- техничко-технолошке методе
- мере преоријентације на чистије или чисте изворе енергије

Техничко-технолошке методе

- методе пре процеса сагоревања – пречишћавање горива
- методе за време процеса сагоревања – примарни поступци (модификације у процесу сагоревања)
- методе после процеса сагоревања – секундарни поступци (пречишћавање димних гасова)

Угљен моноксид и несагорели угљоводоници

- регулисањем процеса сагоревања
- мали захвати код стационарних постројења

Упоредни приказ законске регулативе за граничне вредности емисије NO_x (mg/m³) за сагоревање угља у спрашеном стању

Топлотна снага (MW)	Република Србија	Европска Унија
50 – 500	600	600
≥ 500	500 / 200	500 / 200

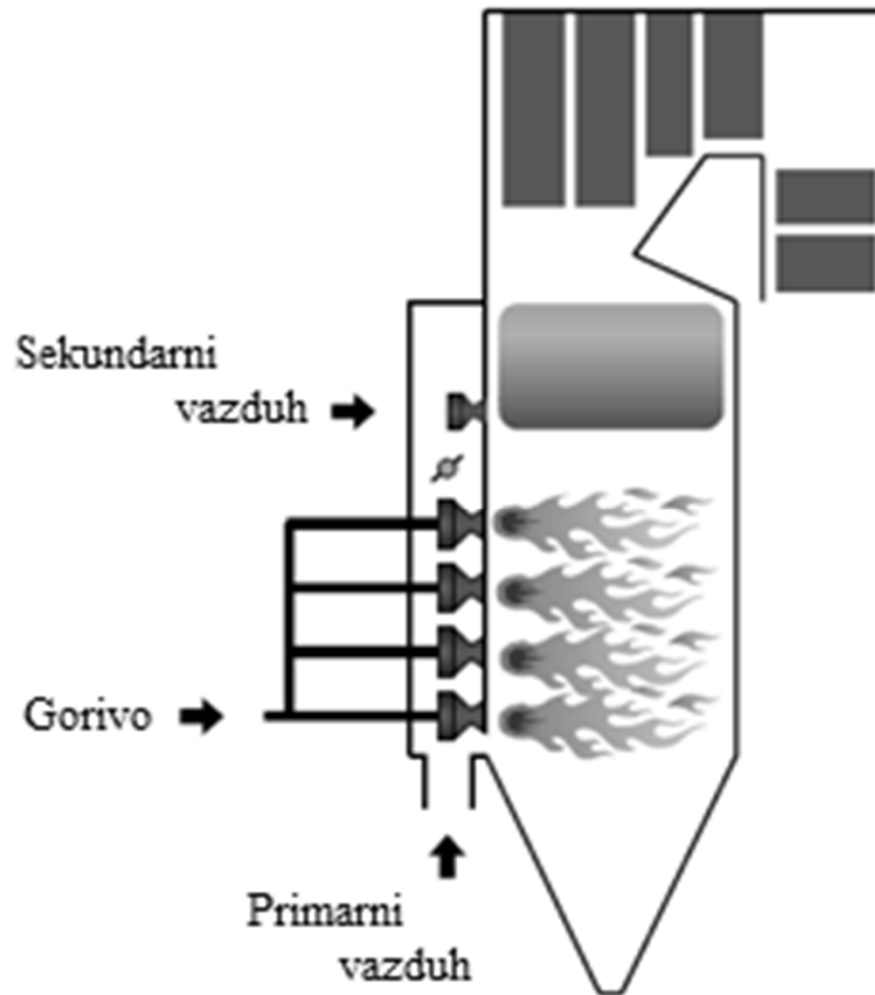
Азотни оксиди

- примарни поступци
 - оптимизација рада горионика
 - контрола коефицијента вишка ваздуха
 - фино подешавање рада котла)
 - вишестепено довођење ваздуха у котлао
 - рецикулација димних гасова
 - вишестепено довођење горива
 - горионици са ниском емисијом азотних оксида

Азотни оксиди

- вишестепено довођење ваздуха у котао
 - Одвија се најчешће у два степена
 - примарни ваздух (70-90% од укупно потербне количине) – сагоревање се одвија при ниским температурама
 - секундарни ваздух – доводи се изнад зоне примарног сагоревања и у тој зони сагоревање је потпуно, а температуре релативно ниске и ограничава се настајање термичког NO

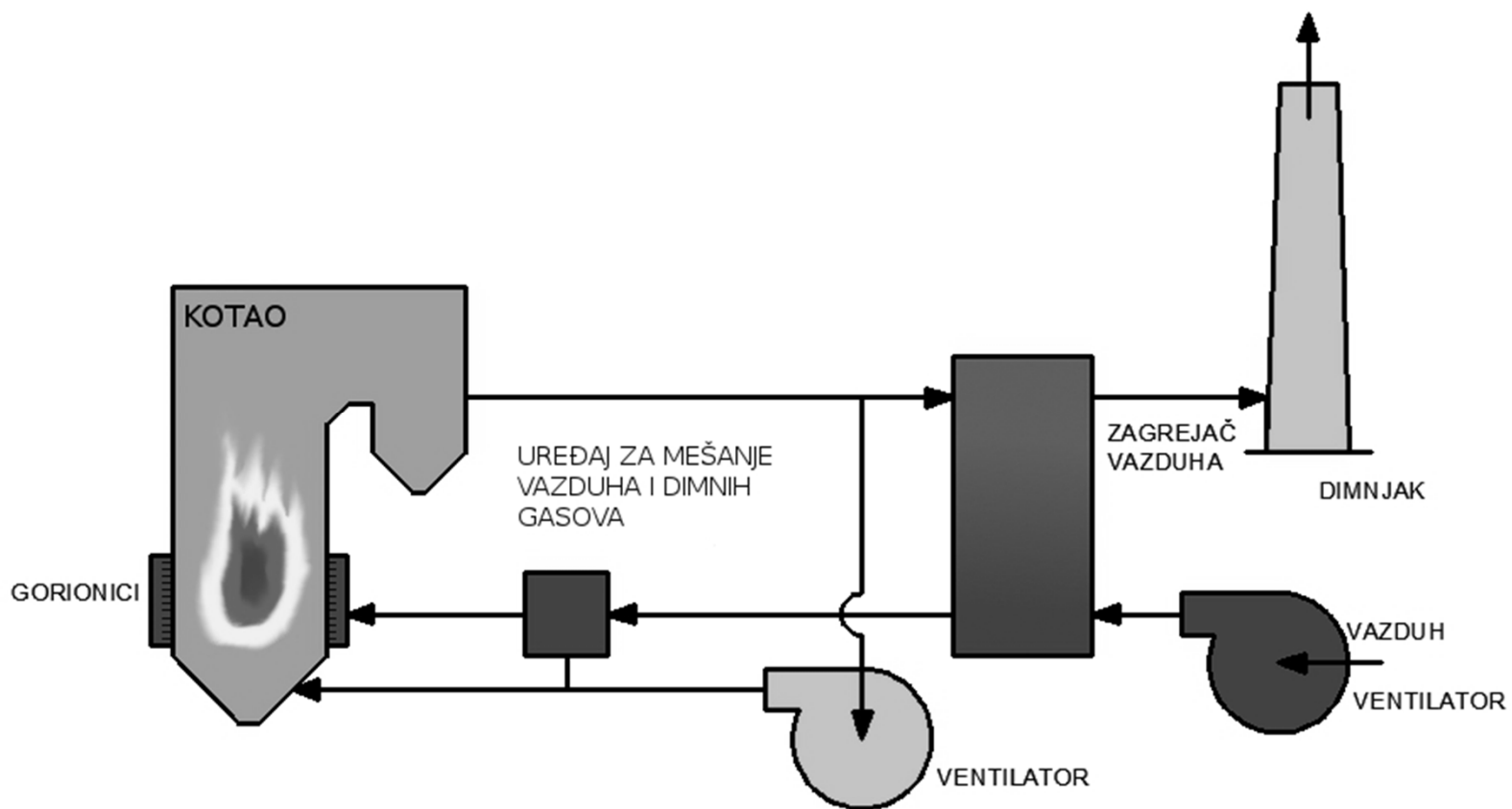
Вишестепено довођење ваздуха у котао



Азотни оксиди

- рецикулација димних гасова
 - Димни гасови (20-30 % укупне количине) температуре 350-400 °C враћају се у ложиште или у горионик
 - Мешањем димних гасова са ваздухом за сагоревање постиже се смањење температуре сагоревања и смањење образовања термичког NO

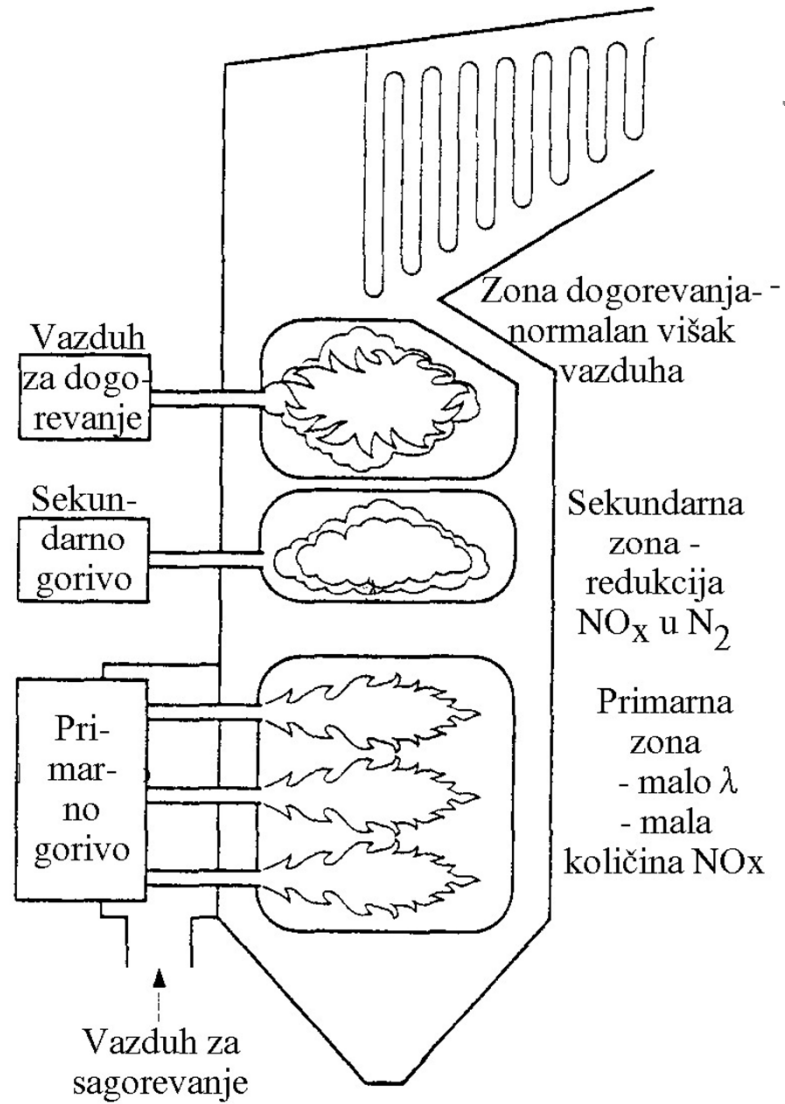
Рециркулација димних гасова



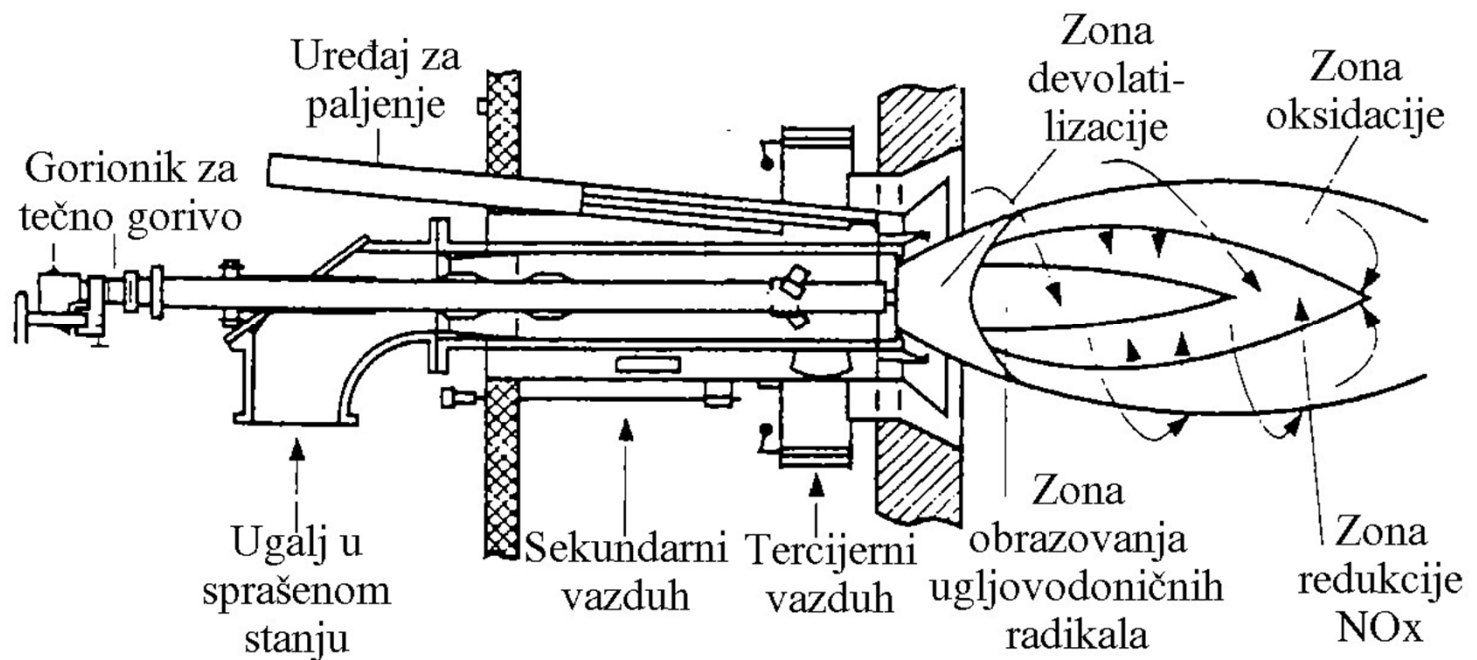
АЗОТНИ ОКСИДИ

- вишестепено довођење горива
 - Основна карактеристика је стварање зона богатих и сиромашних горивом при чему се стварају услови за трансформацију образованог NO_x у N_2
 - Постоји неколико начина
 - Регулација протока горива
 - Померање довода горива
 - Тростепено сагоревање

Вишестепено сагоревање

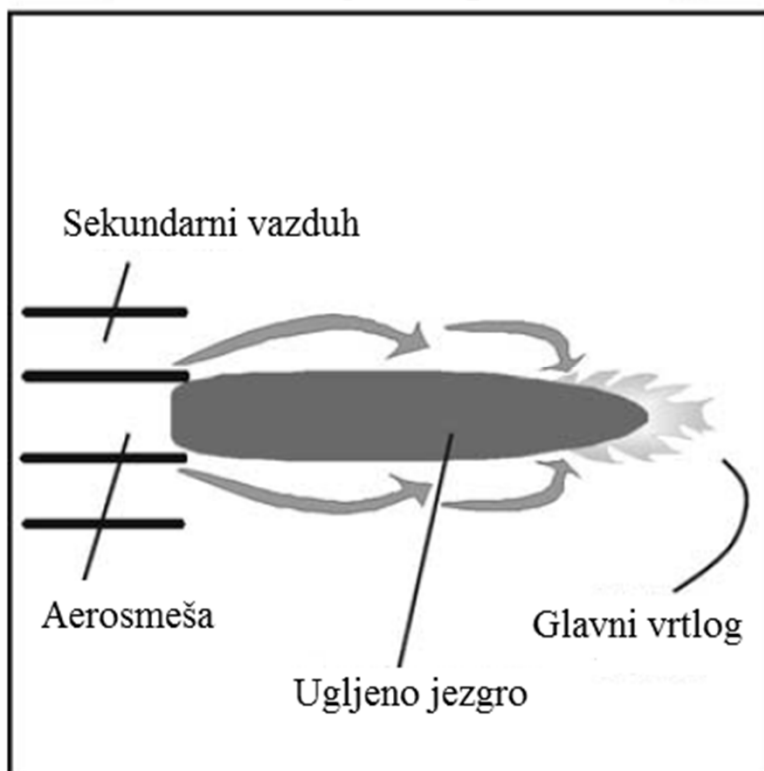


Горионици са ниском емисијом азотних оксида

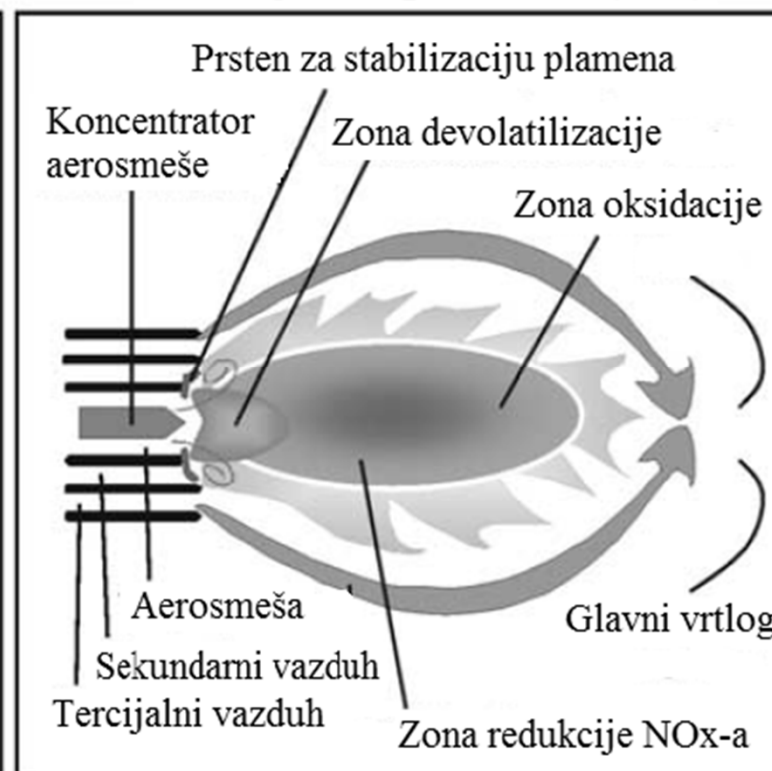


Горионици са ниском емисијом азотних оксида

Konvencijalni gorionik



Poboljšani gorionik (NR)



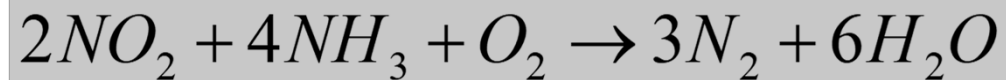
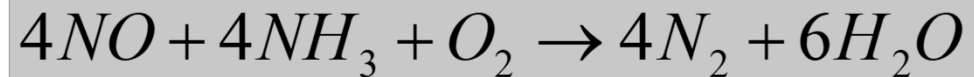
Азотни оксиди

■ секундарни поступци

- поступци селективне каталитичке редукције (СКР)
- поступци селективне некаталитичке редукције (СНКР)
- комбиновани СНКР/СКР поступци
- комбиновани поступци за одстрањивање сумпорних и азотних оксида ($\text{SO}_x\text{-NO}_x$)

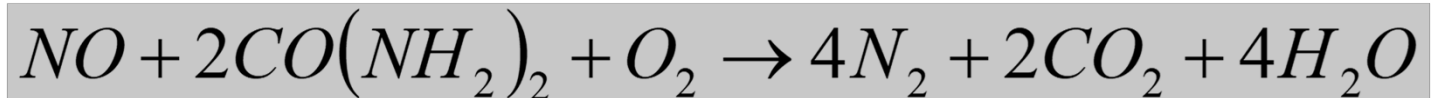
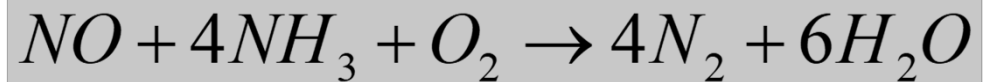
Азотни оксиди

- поступци селективне каталитичке редукције (СКР)
 - У димне гасове температуре 300-400 °C убризгава се амонијак, који реагује са азотним оксидима и као производ добијају се азот и вода



Азотни оксиди

- поступци селективне некаталитичке редукције (СНКР)
 - Као реагенс најчешће се користе амонијак и уреа



Сумпорни оксиди

- Методе за пречишћавање горива
 - Земни гас
 - сумпор водоник (H_2S)
 - пречишћавање одмах се после вађења из налазишта
 - Нафта
 - у току прераде у рафинеријама
 - врло скупо
 - налазишта нафте са ниским садржајем сумпора (0,3-0,5%) у Либији, Нигерији и Индонезији
 - садржај сумпора зависи од врсте производа
 - Угаљ
 - начин одстрањивања зависи од облика у коме се сумпор налази – поступак прања, поступци превођења угља у гасовито или течно гориво, поступци пречишћавања помоћу бактерија
 - за оцену квалитета gS/MJ
 - резерве нискосумпорног угља у САД

Сумпорни оксиди

- примарни поступци
 - сагоревање у флуидизованом слоју (додавање кречњака) – смањење емисије SO_x и до 90%

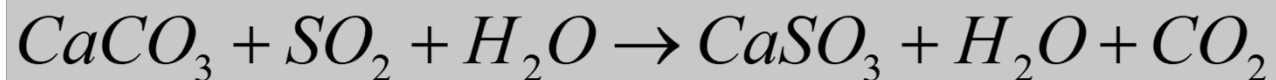
Сумпорни оксиди

- секундарни поступци
 - развијено око 100 поступака
 - погодни за горива са високим садржајем сумпора
 - I критеријум – према добијеном производу (мокри и суви поступци)
 - II критеријум – према могућности обновљивости сорбента (регенеративни и нерегенеративни поступци)

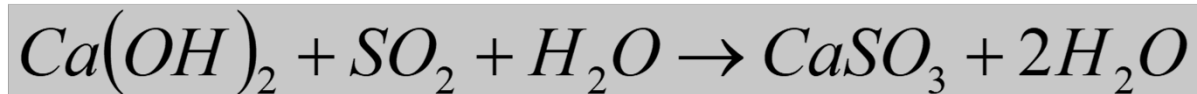
Сумпорни оксиди

- Мокри поступци

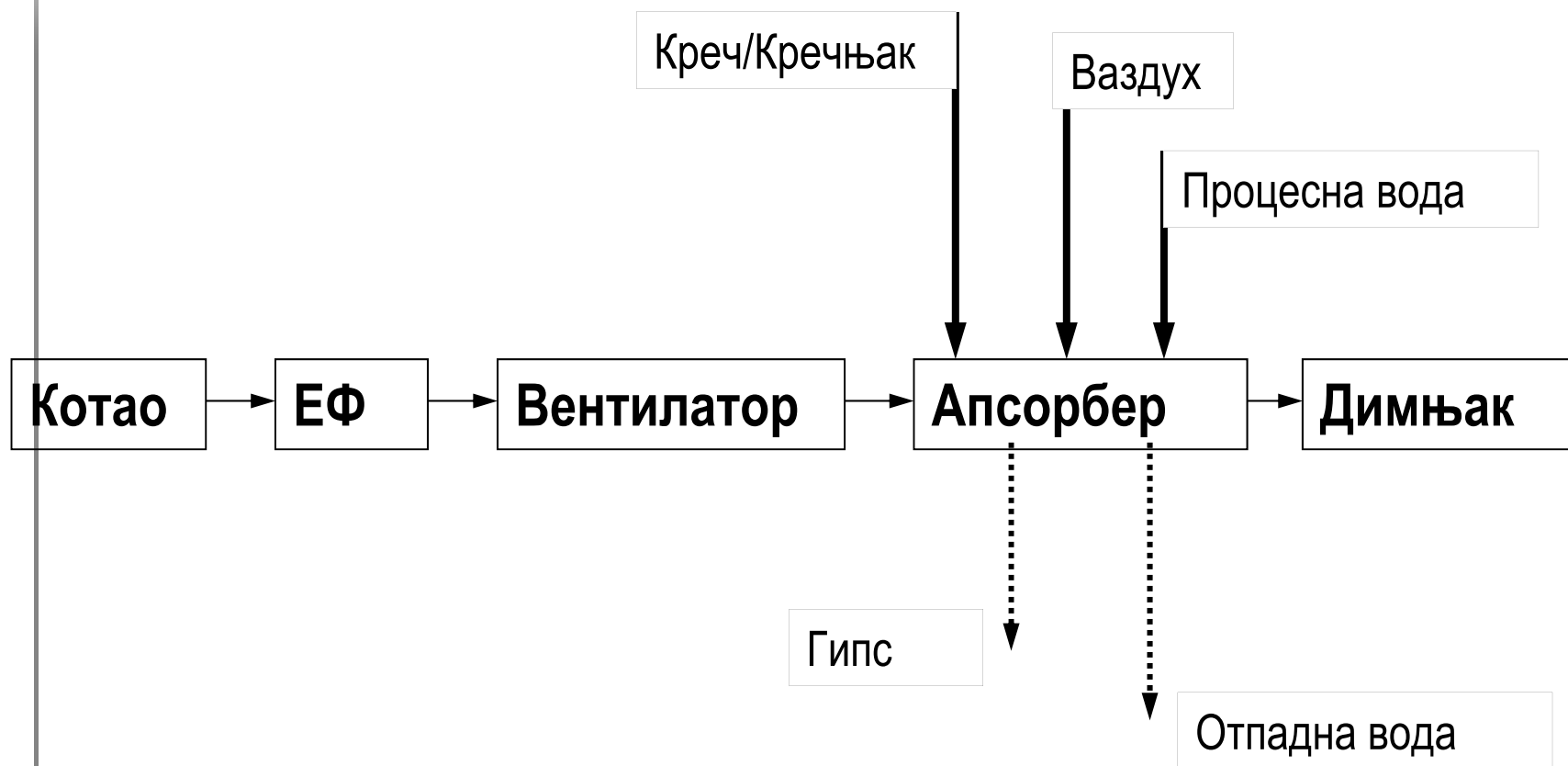
- Поступци на бази кречњака CaCO_3



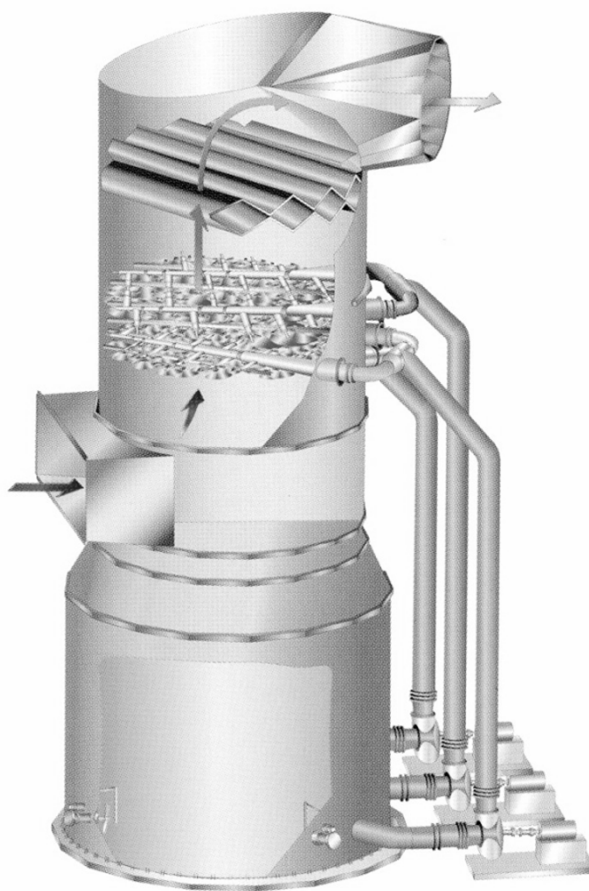
- Поступци на бази креча Ca(OH)_2



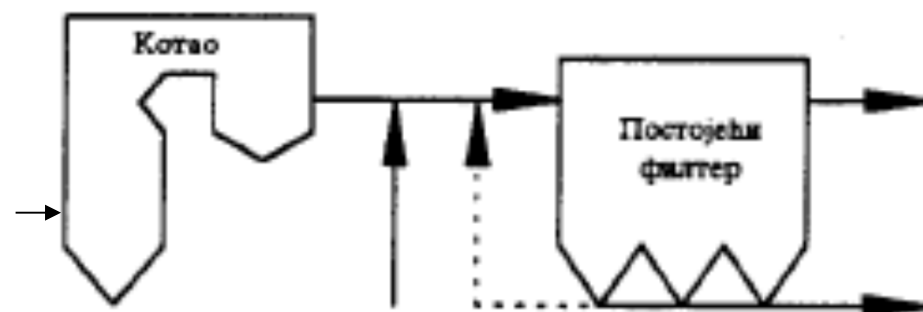
Одсумпоравање димних гасова – мокри поступак



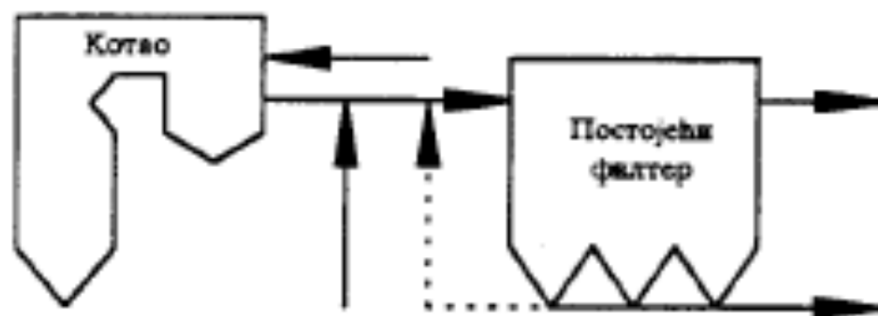
Одсумпоравање димних гасова – мокри поступак



Одсумпоравање димних гасова – суви поступак

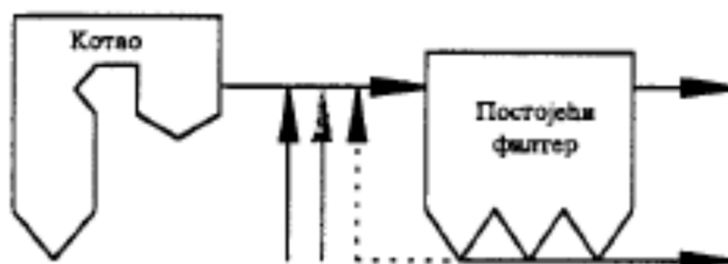


а. УСУЛ

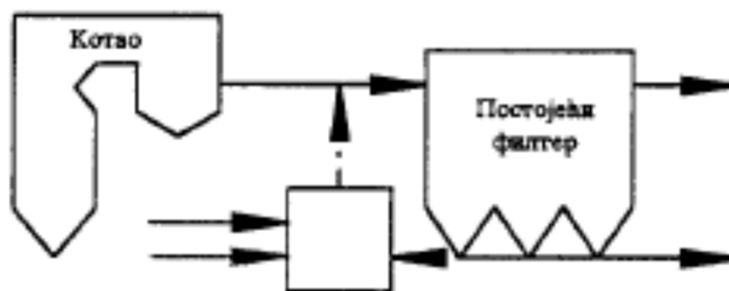


б. УСУК

Одсумпоравање димних гасова – суви поступак

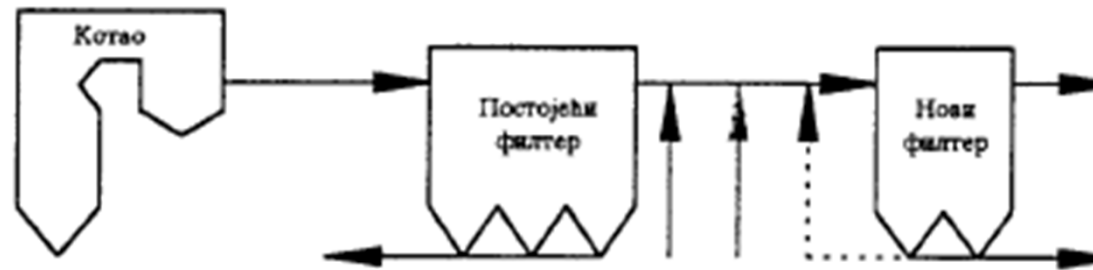


в. УСУДИК 1

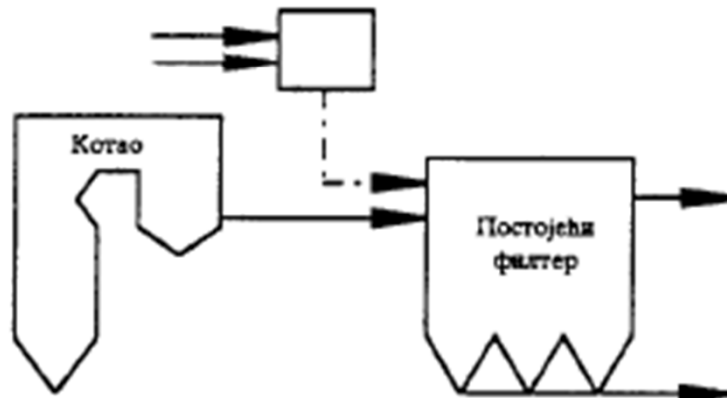


в. УСУДИК 2

Одсумпоравање димних гасова – суви поступак

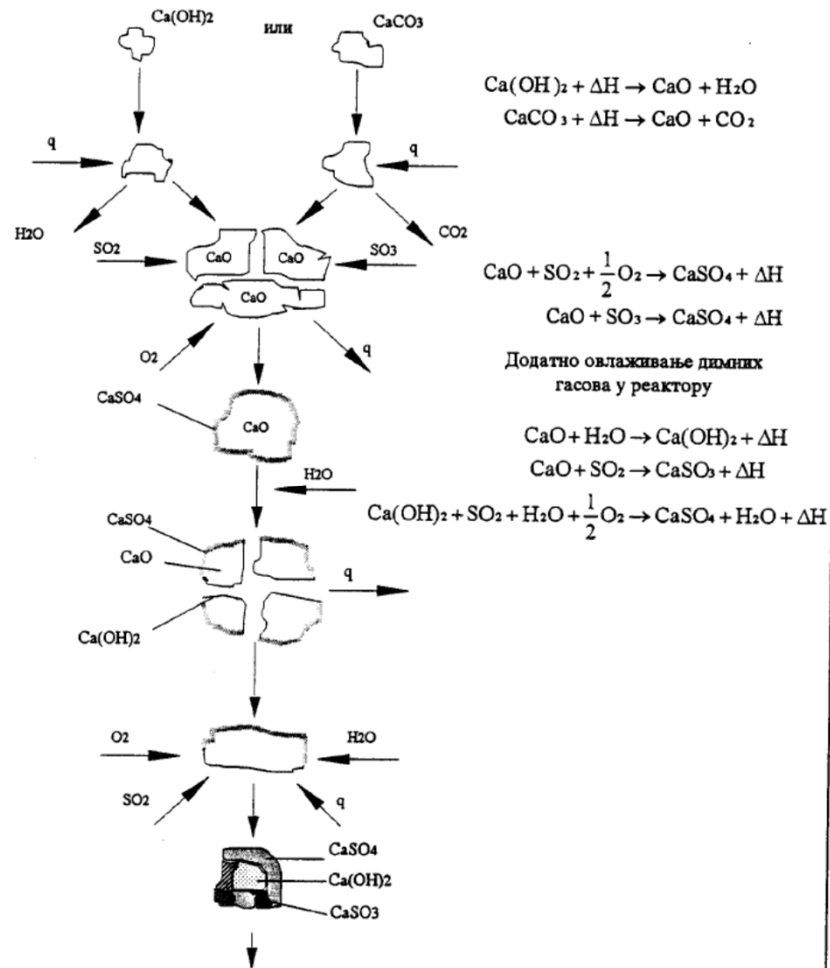


в. УСУДИК 3



г. УСУФ

Одсумпоравање димних гасова – суви поступак



Чврсте честице

- чађ

- редовне контроле процеса сагоревања
- оптимирање појединих параметара процеса сагоревања

- летећи пепео

- издвајање у електростатичким филтерима, врећастим филтерима и циклонима

Гасови стаклене баште - CO₂

- перспективна горива
 - биоетанол
 - биометанол
 - Биодизел
 - биомаса
 - течни природни гас
 - компримовани природни гас
 - водоник

Гасови стаклене баште - CO₂

- стратегија смањења емисије
 - енергетски сектор
 - обнова постројења
 - замена горива
 - обновљиви извори енергије
 - повећање енергетске ефикасности
 - смањење губитака у преносу

Гасови стаклене баште - CO₂

- стратегија смањења емисије

- индустрија

- енергетска ефикасност, посебно у индустрији челика и цемента

- домаћинства

- повећање енергетске ефикасности уређаја за домаћинство

Угљенични отисак

- Угљенични отисак је мера нашег утицаја на животну средину и климатске промене.
- Изражава се у тонама еквивалената CO₂.
- <http://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx>
- <http://footprint.wwf.org.uk>

Угљенични отисак

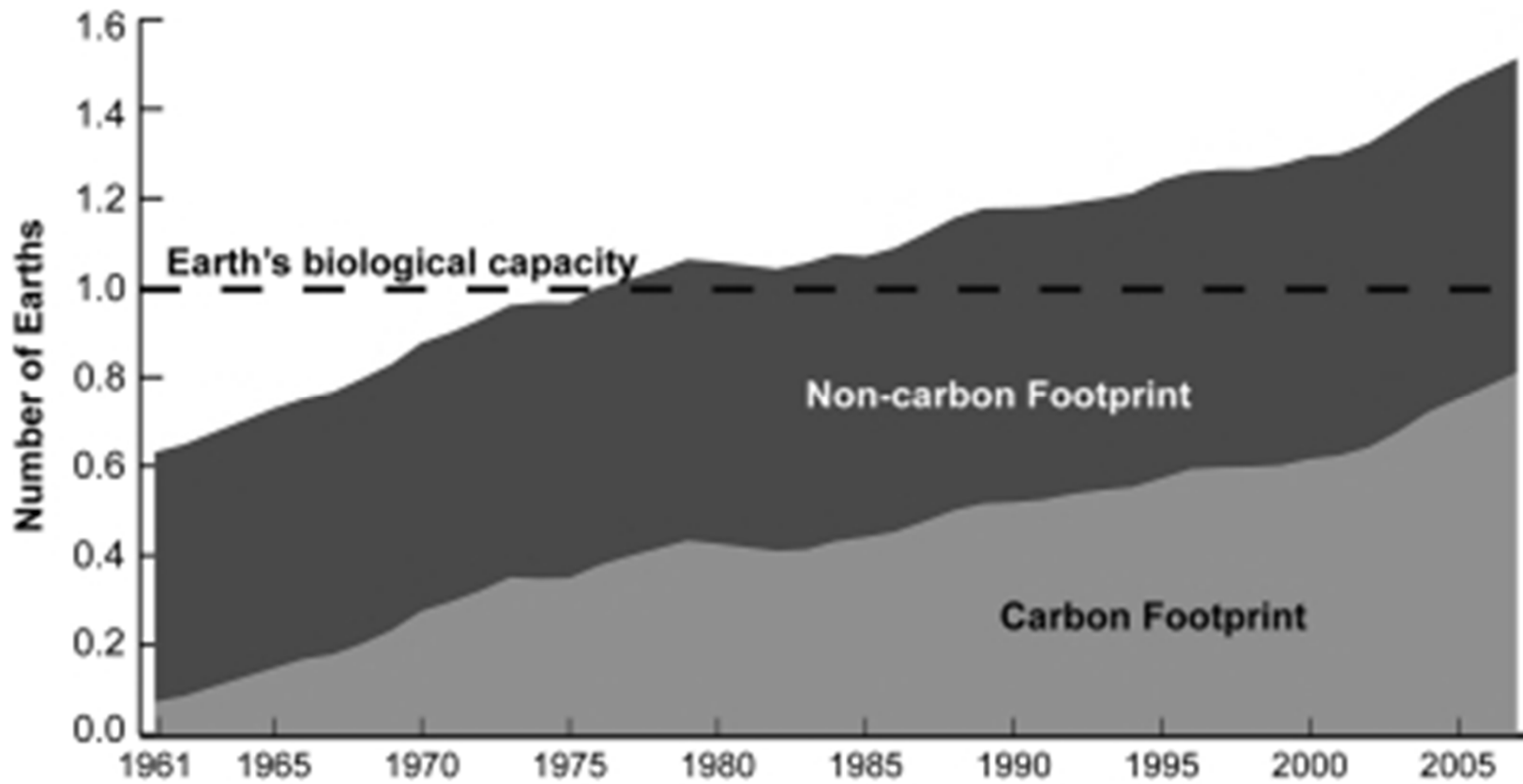
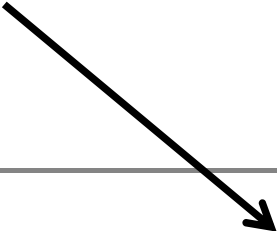
- Угљенични отисак је мера нашег утицаја на животну средину и климатске промене.

Предавање у недељи од 13. до
17.01.2014.

- <http://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx>
- <http://footprint.wwf.org.uk>

Carbon Footprint

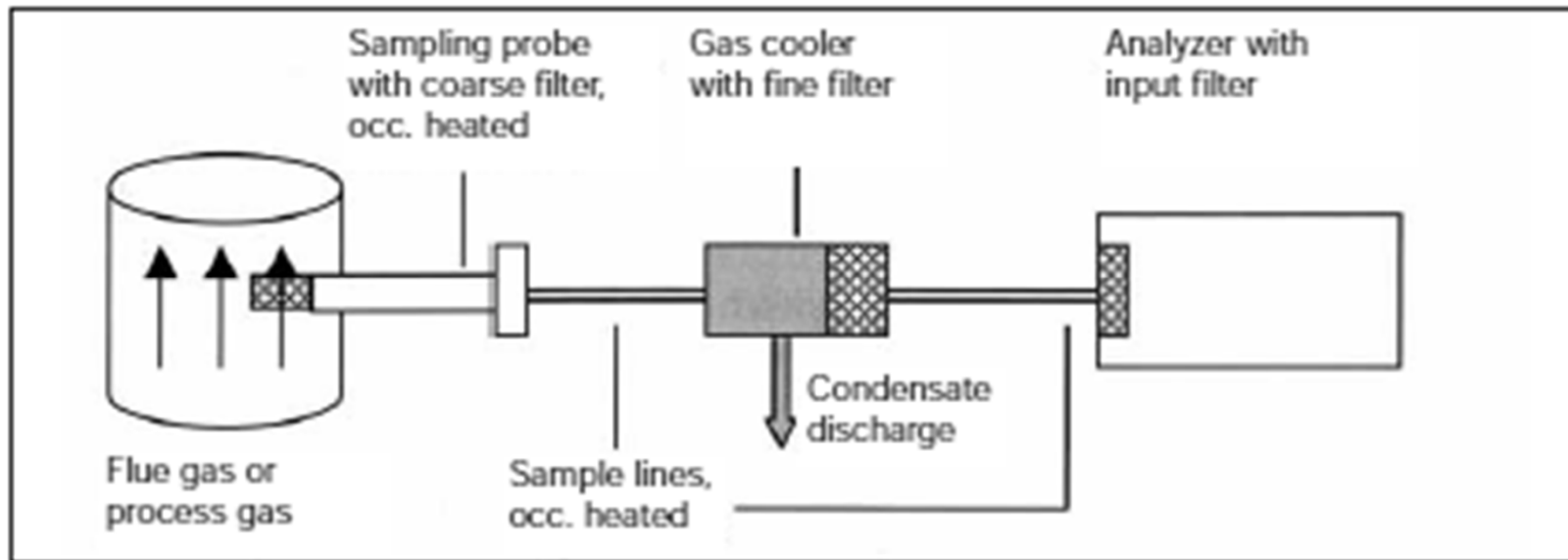
2013. – 2,5



Мерење емисије загађујућих материја

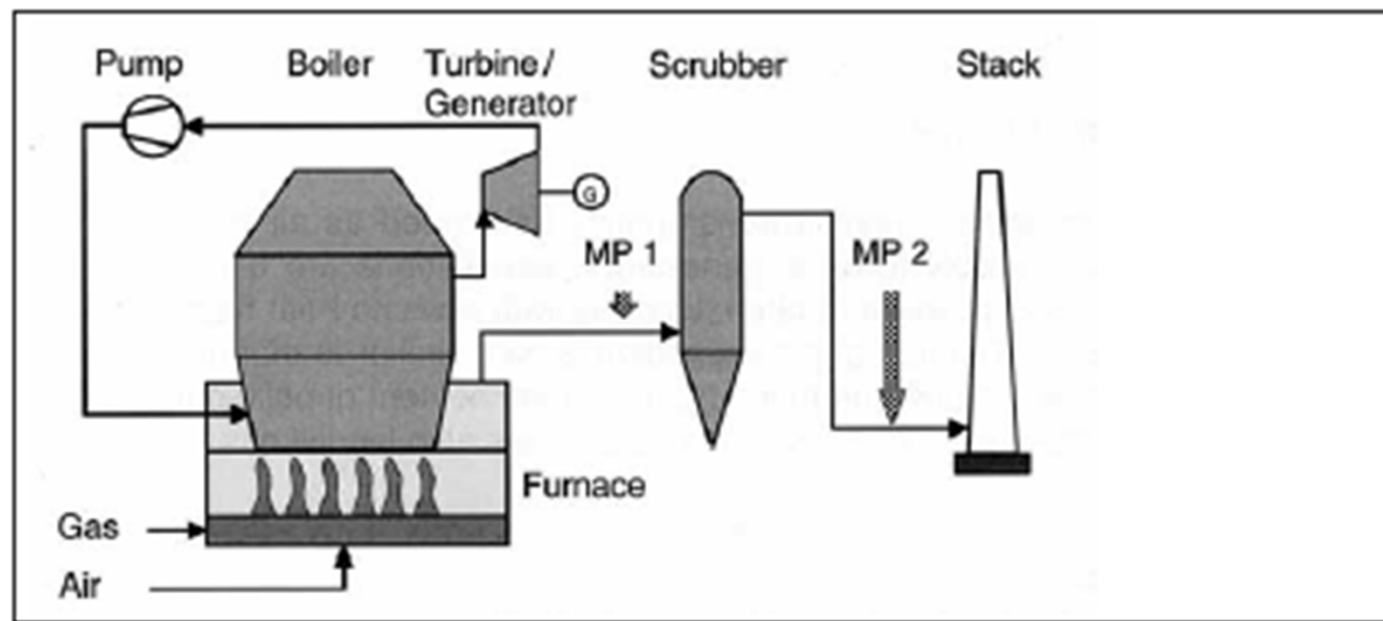
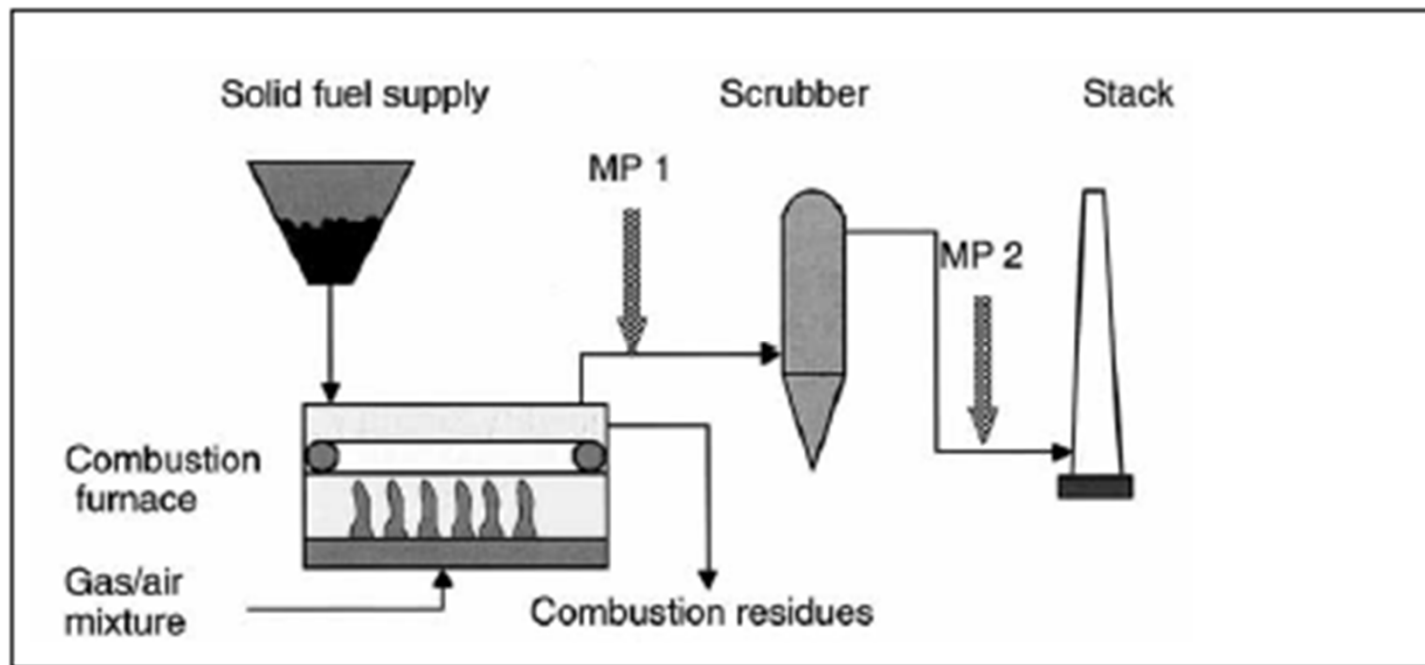
- директно мерење
 - O_2 , CO , NO , NO_2 и SO_2
- израчунавање коефицијента вишка ваздуха и садржаја CO у неразређеним продуктима сагоревања
- израчунавање губитака у продуктима сагоревања

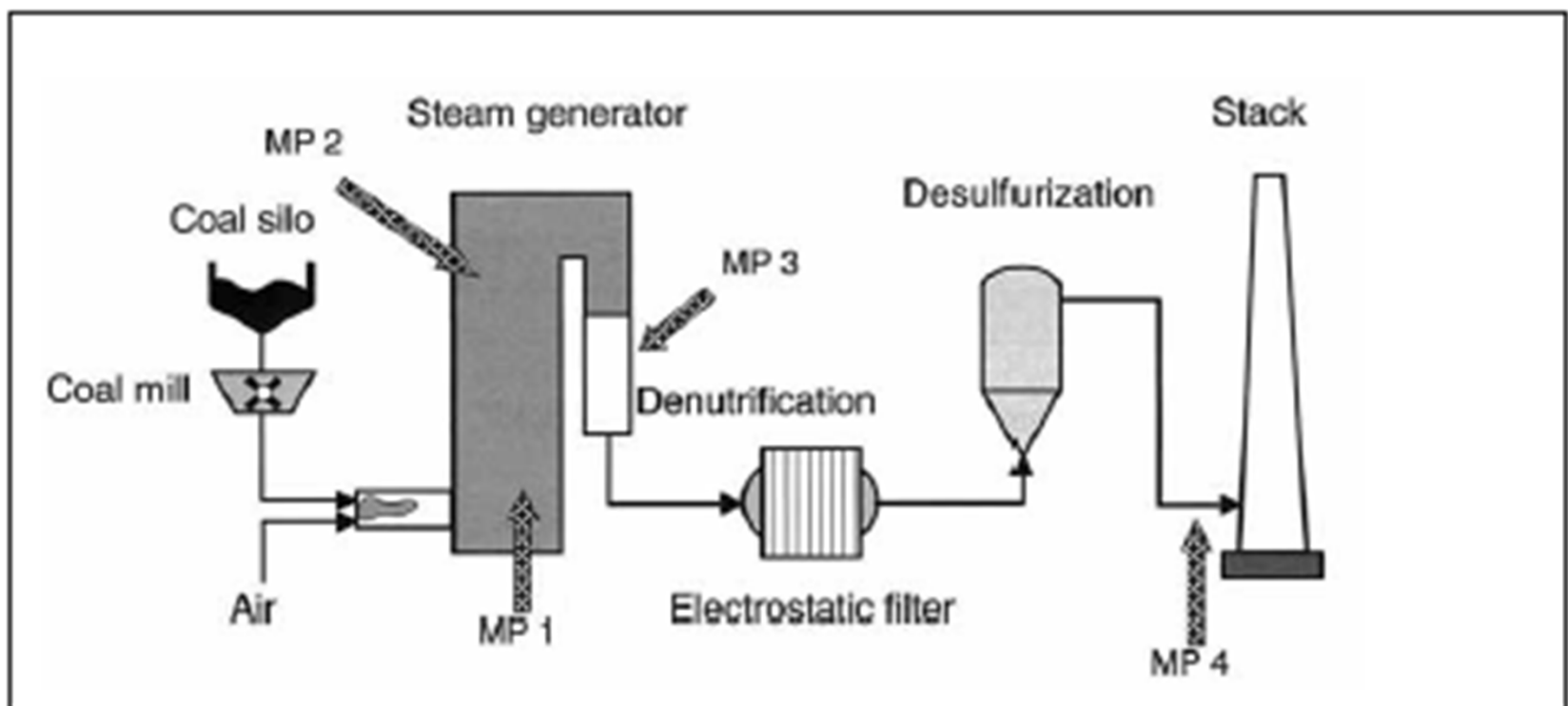
Мерење састава продуката сагоревања



Мерења емисије

- гаранцијска мерења (након изградње или реконструкције објекта)
- појединачно мерење (мерење ради повремених контрола, а најмање једном у току године)
- контролно мерење (мерење код постројења и уређаја)
- гранично контролно мерење (мерење ради провере података о емисији)





Анализатори димних гасова

- Коефицијент вишка ваздуха се не одређује директно, него на основу садржаја угљен диоксида и кисеоника у димним гасовима. При непотпуном сагоревању потребно је још познавати и садржај сагорљивих гасова. Состав продуката сагоревања одређује се њиховом анализом која се врши анализаторима различитих система и конструкција. Анализатори димних гасова могу да буду хемијски и физички.

Анализатори димних гасова

- хемијски анализатори – принцип мерења заснива се на селективном упијању појединих компонената димних гасова разним хемијским апсорбентима
- физички анализатори – принцип мерења заснива се на коришћењу одређеног физичког ефекта или физичке особине материје