



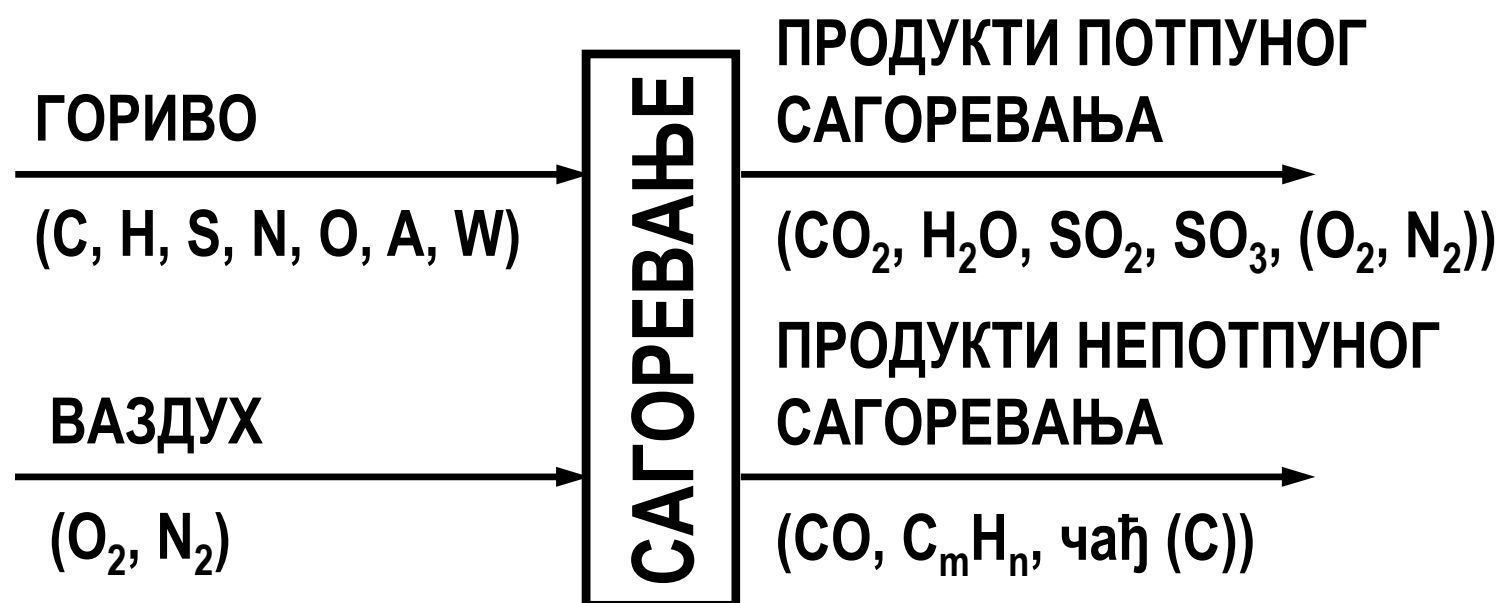
# **Токсичне компоненте**

# Класификација продуката сагоревања

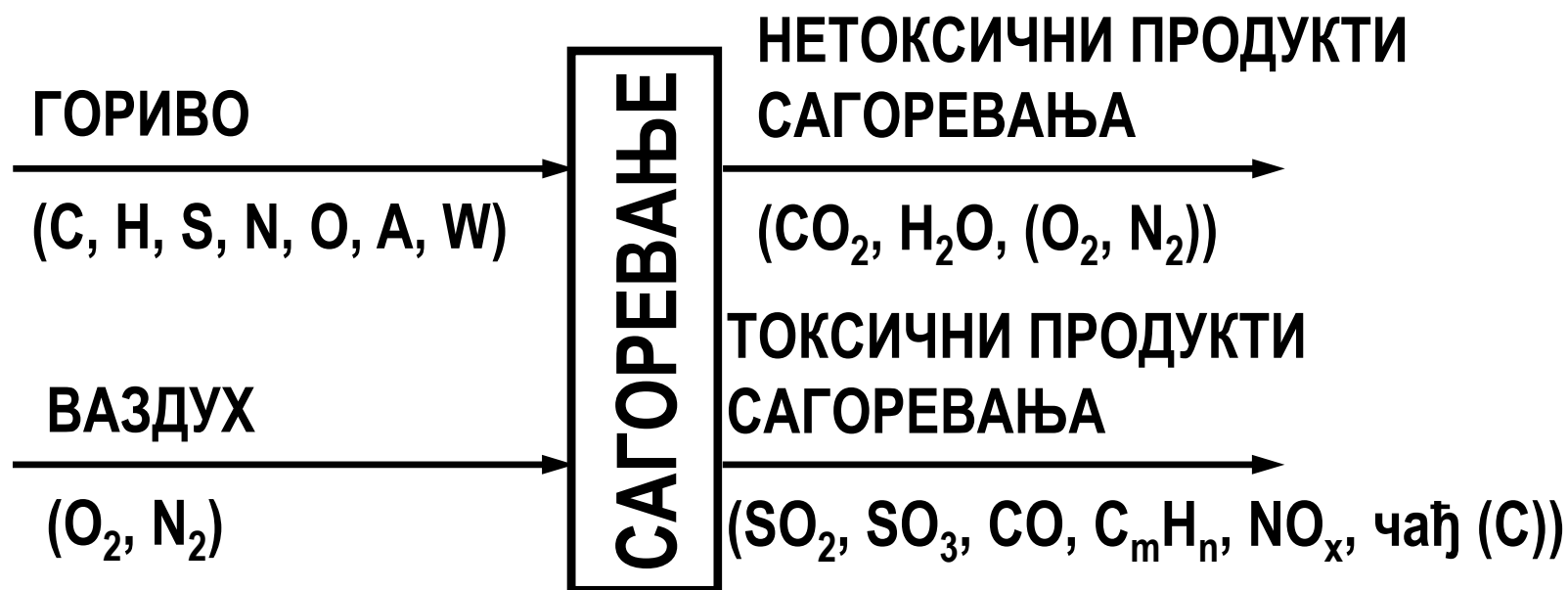
---

- према критеријуму потпуног/непотпуног сагоревања
- према критеријуму токсичности
- према агрегатном стању (гасовити, течни, чврсти)
- према времену настајања (примарни и секундарни)
- према извору загађења (стационарни и нестационарни)
- према врсти горива (чврста, течна и гасовита)

# Продукти сагоревања – класификација по критеријуму потпуности сагоревања



# Продукти сагоревања – класификација по критеријуму ТОКСИЧНОСТИ



# Најважније загађујуће материје

---

- угљен моноксид
- несагорели угљоводоници или делимично сагорели угљоводоници
- сумпорни оксиди
  - $\text{SO}_2$
  - $\text{SO}_3$

# Најважније загађујуће материје

---

- азотни оксиди ( $\text{NO}_x$ )
  - NO
  - $\text{NO}_2$
- чврсте честице
  - чађ
  - шљака
  - летећи пепео
  - тешки метали
- гасови стаклене баште – посебно  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$

# Угљен моноксид и несагорели угљоводоници

---

- недовољна количина ваздуха
  - недовољно висока температура сагоревања
  - недовољно време
  - лоше мешање горива и ваздуха
- 
- $\text{CO}$  – токсичан, спречава везивање кисеоника са хемоглобином
  - $\text{C}_m\text{H}_n$  – токсични, а неки су и канцерогени

# Азотни оксиди

- настају од азота у ваздуху
- настају од азота у гориву
- најважнији су  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  –  $\text{NO}_x$
- $\text{NO}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$  – у малим концентрацијама, утицај занемарљив
- азот субоксид ( $\text{N}_2\text{O}$ ) – 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

---

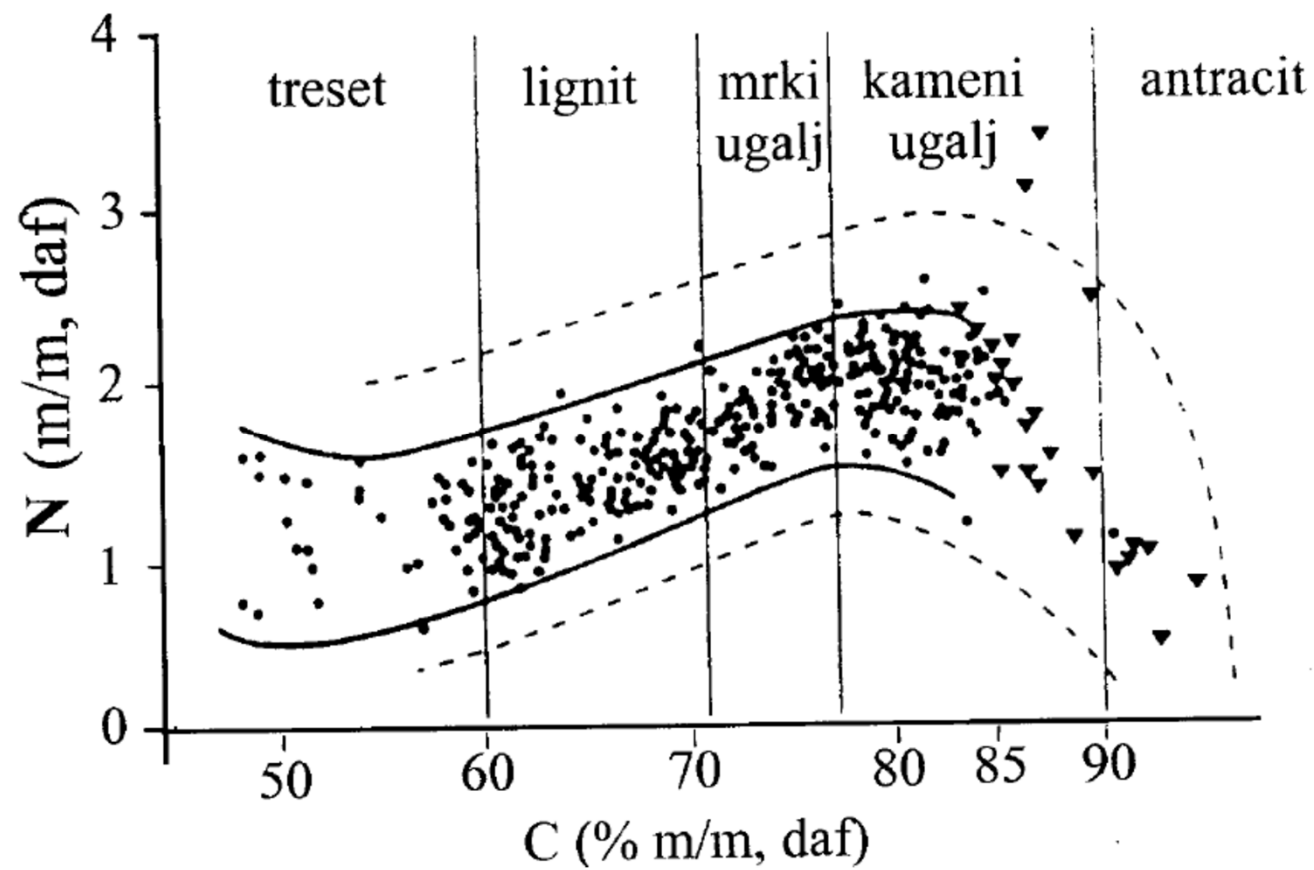
- Настаје реакцијом азота и кисоника из ваздуха при високим температурама које владају у зони пламена.
- Зависи од:
  - температуре,
  - концентрације кисеоника и
  - времена боравка на високим температурама
- Механизам је описао Zeldovich 1948. године

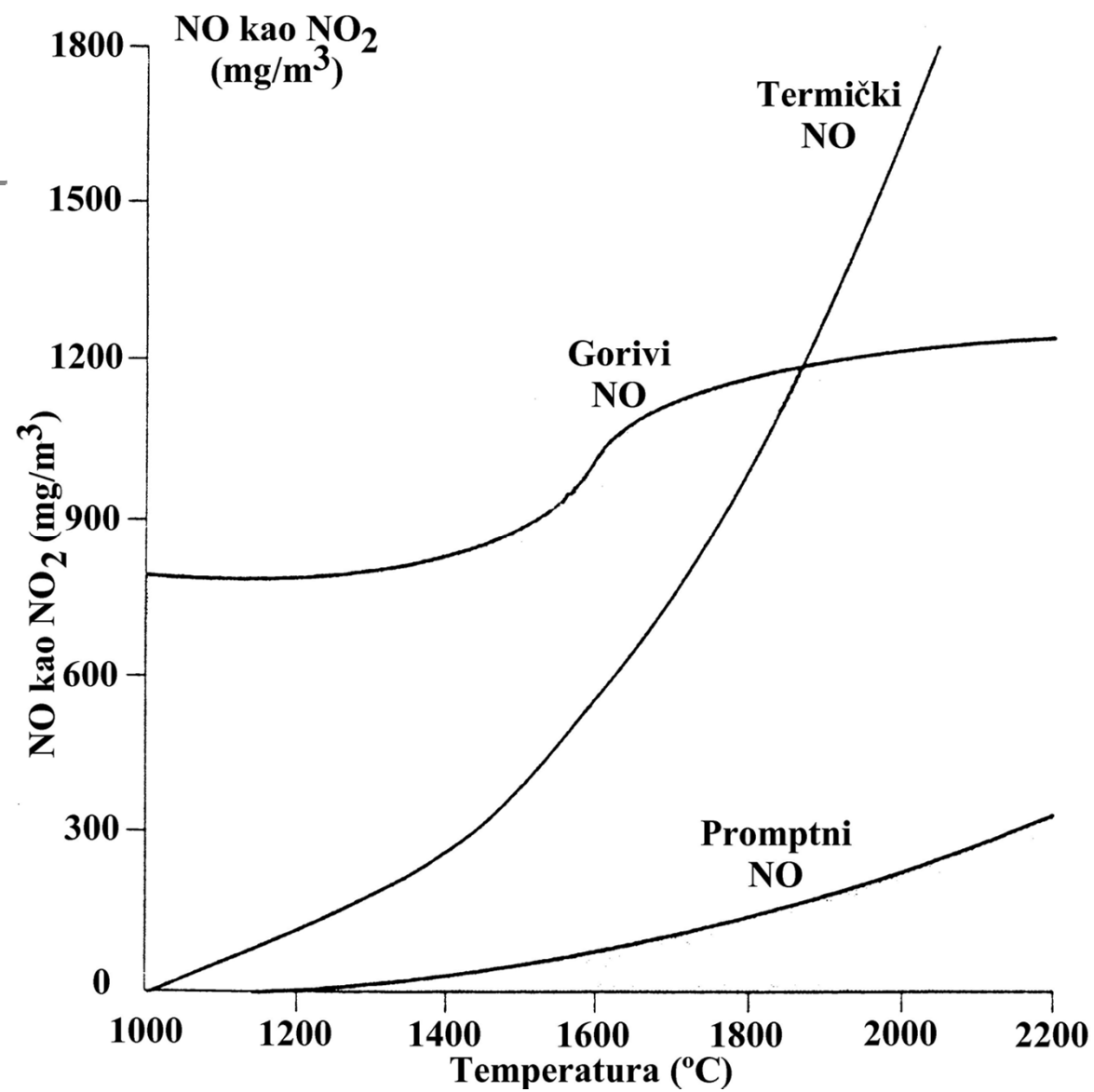
# Промптни NO

---

- Настаје реакцијом молекула азота из ваздуха и слободних радикала ( $\text{CH}$ ,  $\text{CH}_2$ ,  $\text{C}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}$ ,  $\text{C}$ ) из горива у близини зоне пламена
- Реакције се одвијају великом брзином, у условима богате смеше и ниских температура

# Гориви NO





# Сумпорни оксиди

---

- настају од сумпора у гориву
- $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  – стабилни продукти сагоревања
- $\text{SO}$  и  $\text{S}_2\text{O}$  – нестабилни продукти сагоревања, утичу на образовање  $\text{SO}_2$
- $\text{SO}_3$  – само неколико процената од количине образованог сумпор диоксида

# Сумпорни оксиди

---

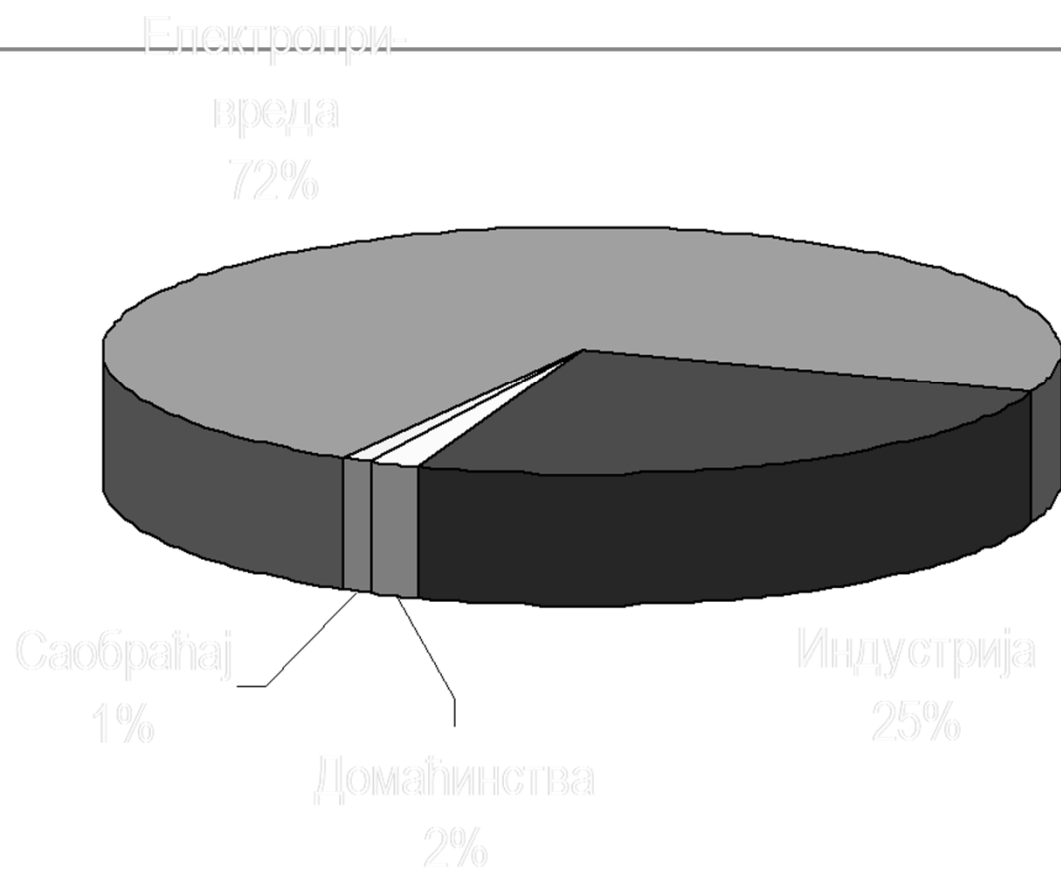
- технички проблем

- утичу на стварање корозије, реагују са воденом паром из продуката сагоревања и настају  $\text{H}_2\text{SO}_3$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$

- еколошки проблем

- појава киселих киша
- смањење видљивости
- делују штетно на дисајне органе, чак и у малим концентрацијама
- ометају процес фотосинтезе код биљака

# Сумпорни оксиди





# 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 ( $\text{CO}_2$ )
  - метан ( $\text{CH}_4$ )
  - азот субоксид ( $\text{N}_2\text{O}$ )
  - флуороугљоводоници (HFCs)
  - перфлуороугљоводоници (PFCs)
  - сумпор хексафлуорид ( $\text{SF}_6$ )

# Гасови стаклене баште – CO<sub>2</sub>

---

- пораст концентрације CO<sub>2</sub> у атмосфери око 0,5% годишње
- CO<sub>2</sub> 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.)

# Коефицијент емисије CO<sub>2</sub>

## KE<sub>CO2</sub> (kg CO<sub>2</sub>/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

# Азотни оксиди

---

## ■ примарни поступци

- оптимизација рада горионика
  - контрола коефицијента вишка ваздуха
  - фино подешавање рада котла)
- вишестепено довођење ваздуха у котао
- 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 потребне 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

# Азотни оксиди

---

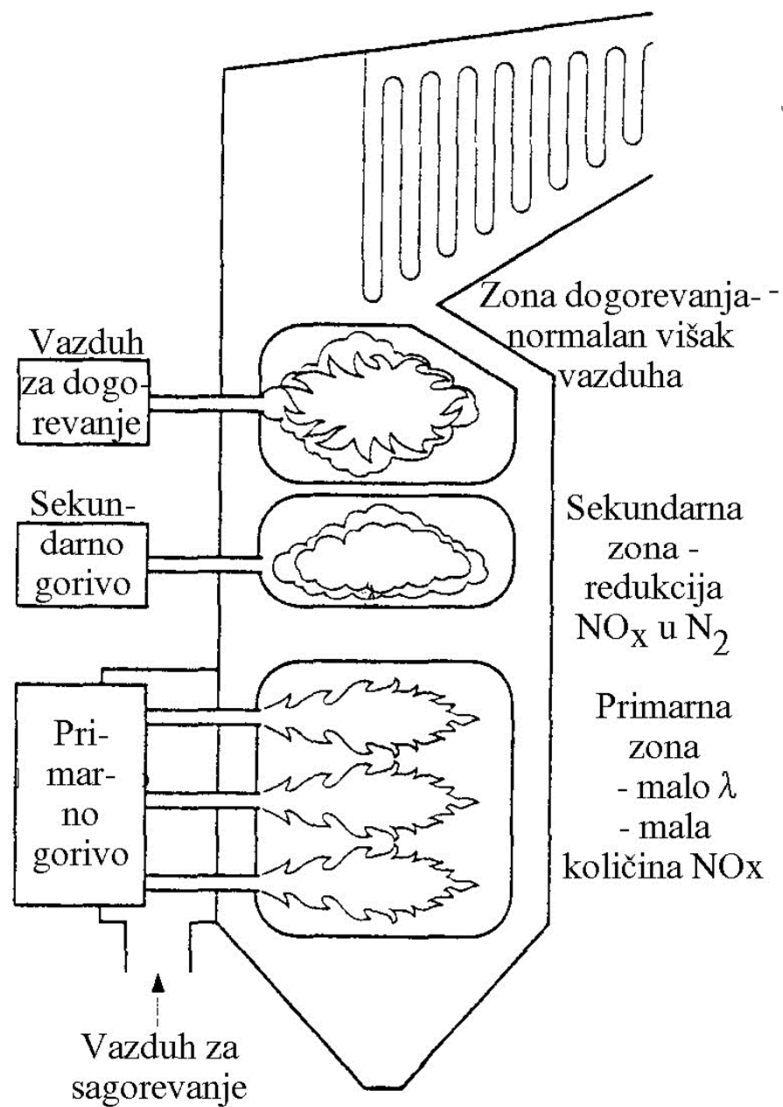
- рецикулација димних гасова
  - Димни гасови (20-30 % укупне количине) температуре 350-400 °C враћају се у ложиште или у горионик
  - Мешањем димних гасова са ваздухом за сагоревање постиже се смањење температуре сагоревања и смањење образовања термичког NO

# Азотни оксиди

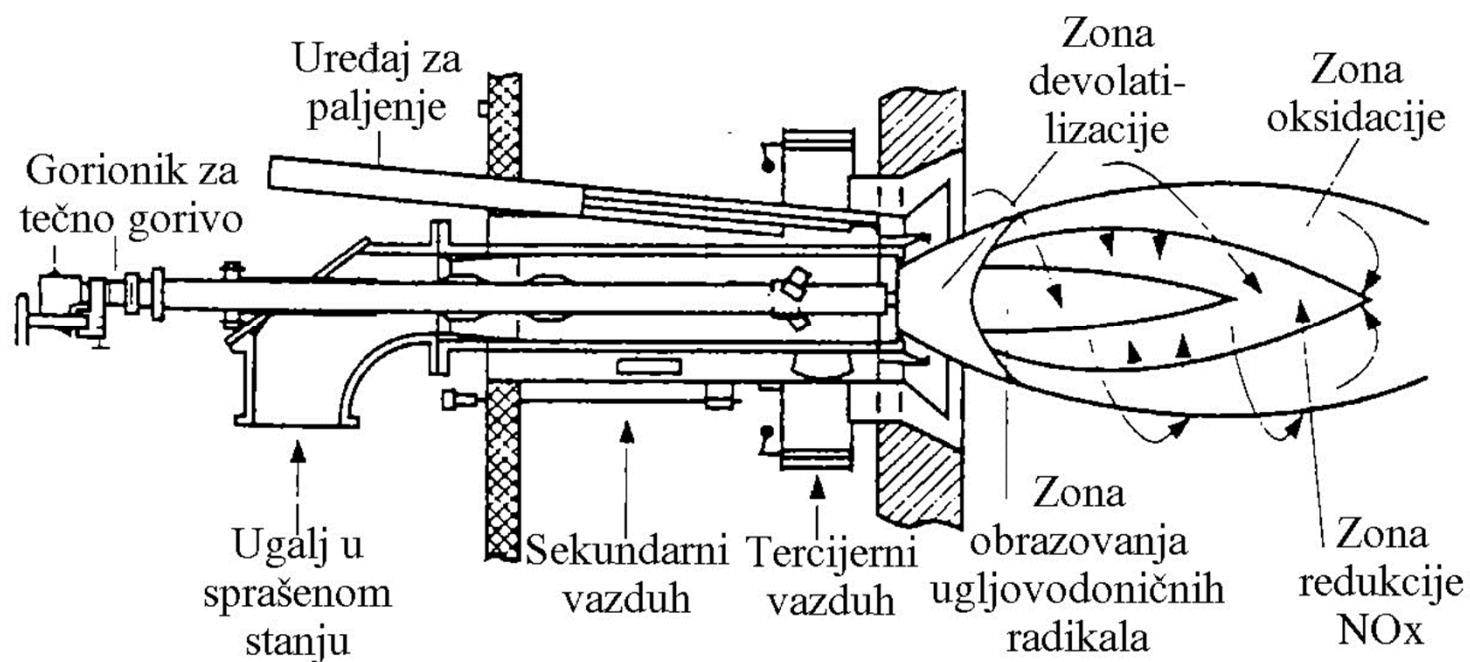
---

- вишестепено довођење горива
  - Основна карактеристика је стварање зона богатих и сиромашних горивом при чему се стварају услови за трансформацију образованог  $\text{NO}_x$  у  $\text{N}_2$
  - Постоји неколико начина
    - Регулација протока горива
    - Померање довода горива
    - Тростепено сагоревање

# Вишестепено сагоревање



# Горионици са ниском емисијом азотних оксида



# Азотни оксиди

---

## ■ секундарни поступци

- 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
- поступци селективне некаталитичке редукције (СНКР) - као реагенс се користе амонијак и уреа
- комбиновани СНКР/СКР поступци
- комбиновани поступци за одстрањивање сумпорних и азотних оксида ( $\text{SO}_x$ - $\text{NO}_x$ )

# Сумпорни оксиди

## ■ Методе за пречишћавање горива

### ➤ Земни гас

- сумпор водоник ( $\text{H}_2\text{S}$ )
- 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  $\text{SO}_x$  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)

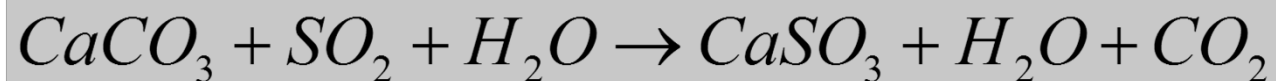
- II критеријум – према могућности обновљивости сорбента (регенеративни и нерегенеративни поступци)

# Сумпорни оксиди

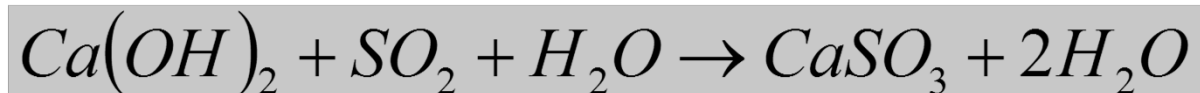
---

- Мокри поступци

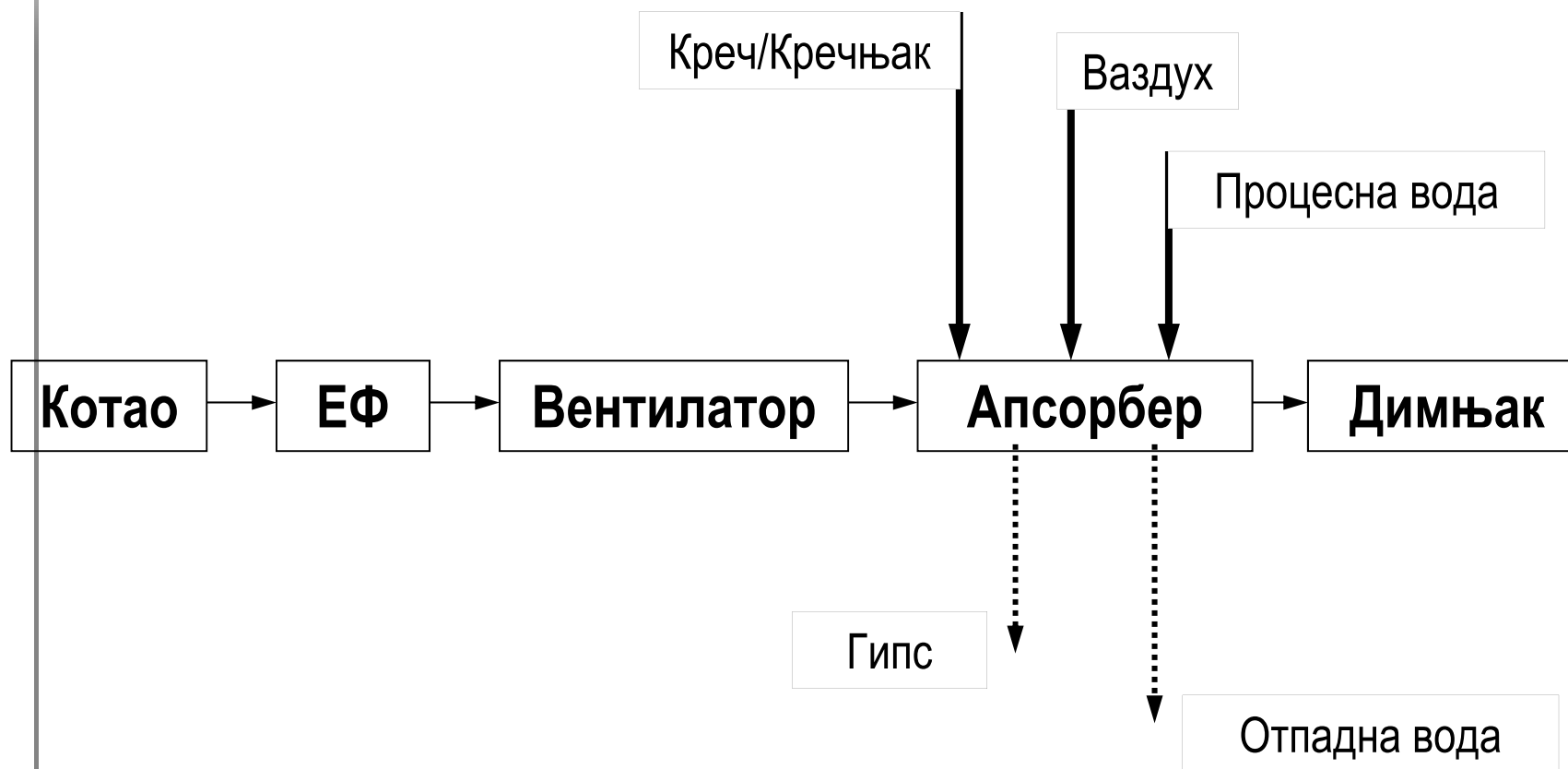
- Поступци на бази кречњака  $\text{CaCO}_3$



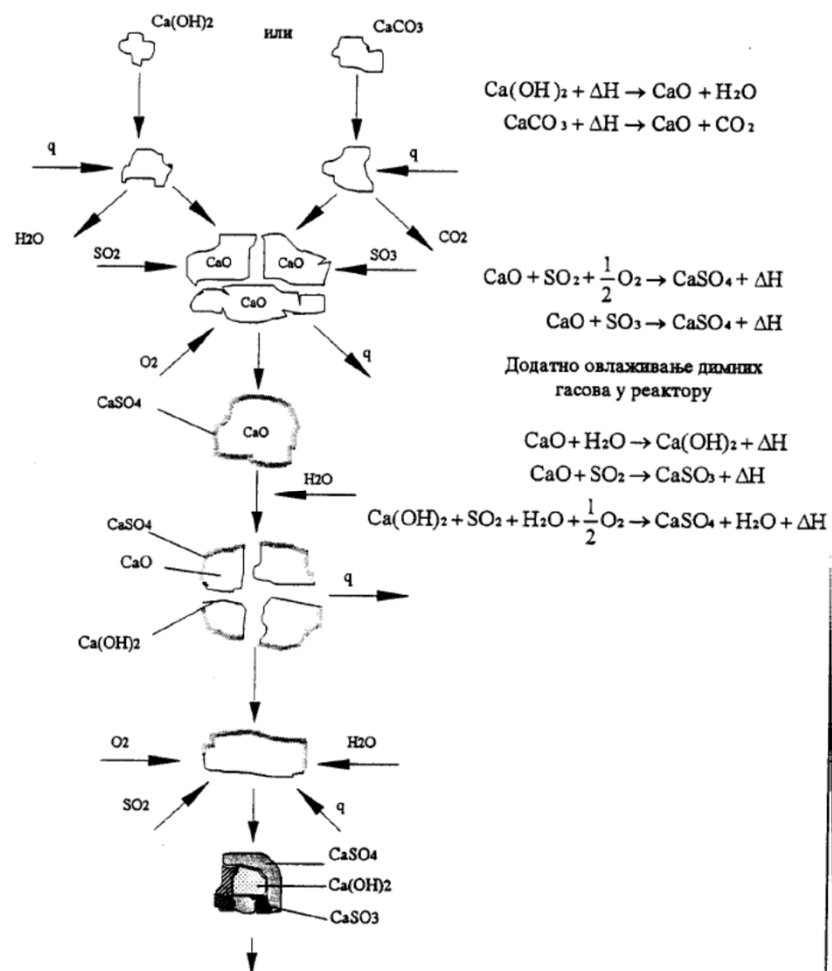
- Поступци на бази креча  $\text{Ca(OH)}_2$



# Одсумпоравање димних гасова – мокри поступак



# Одсумпоровање 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 - CO<sub>2</sub>

---

- стратегија смањења емисије

- енергетски сектор

- обнова постројења

- замена горива

- обновљиви извори енергије

- повећање енергетске ефикасности

- смањење губитака у преносу

# 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

# 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