



# Сагоревање М



---

# Токсичне компоненте



# Класификација продуката сагоревања

Критеријум	Врста продуката сагоревања		
	Потпуност сагоревања	Потпуно	Непотпуно
Токсичност	Токсични	Нетоксични	
Агрегатно стање	Гасовити	Течни	Чврсти
Време настајања	Примарни	Секундарни	
Извор емисије	Стационарни	Мобилни	
Врста горива	Чврста	Течна	Гасовита



# Најважније загађујуће материје

- угљен моноксид ( $\text{CO}$ ),
- несагорели угљоводоници ( $\text{C}_m\text{H}_n$ ),
- сумпорни оксиди ( $\text{SO}_x$ )
  - $\text{SO}_2$
  - $\text{SO}_3$



# Најважније загађујуће материје

- азотни оксиди ( $\text{NO}_x$ )
  - $\text{NO}$ ,
  - $\text{NO}_2$ .
- чврсте честице
  - чађ,
  - шљака,
  - летећи пепео,
  - тешки метали.
- гасови стаклене баште –  $\text{CH}_4$ , а 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.**
  - **CO – токсичан, спречава везивање кисеоника са хемоглобином**
  - **$C_m H_n$  – токсични, а неки су и канцерогени**



# Азотни оксиди

- **Порекло:**
  - од азота у ваздуху,
  - 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

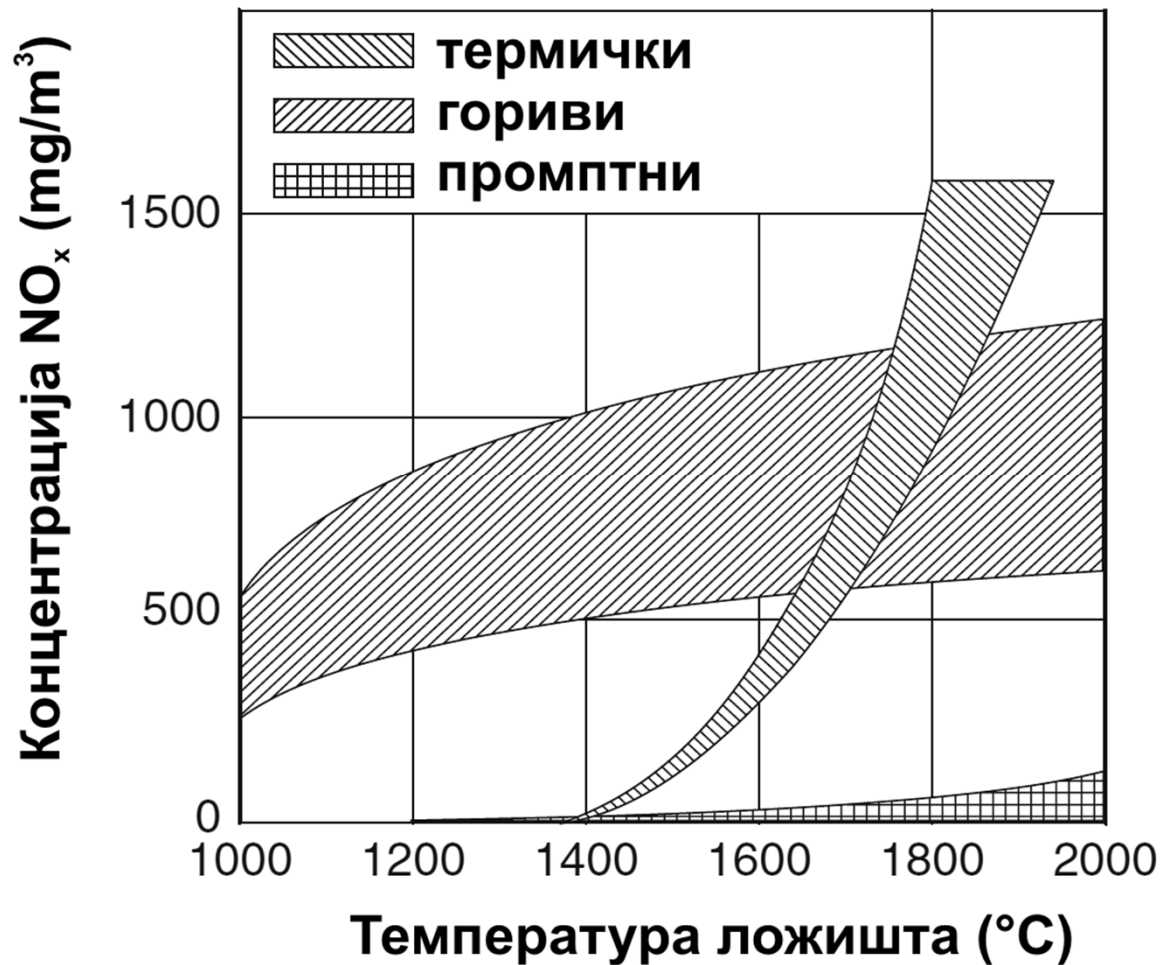


# Азотни оксиди

- 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 %



# Азотни оксиди





# Азотни оксиди

## ■ Термички

Термички  $\text{NO}_x$  се ствара у реакцијама на високим температурама (одавде и име „термички“) азота и кисеоника, према добро познатом Зелдовичевом механизму, па се назива и „Зелдовичев  $\text{NO}_x$ “

## ■ Промптни $\text{NO}_x$

Промптни  $\text{NO}_x$  се ствара у релативно брзим реакцијама (одавде је име „промптни – брзи“) између азота, кисеоника и угљоводоничних радикала.

## ■ Гориви $\text{NO}_x$

Гориви  $\text{NO}_x$  настаје непосредном оксидацијом органских азотних једињења из горива (одавде је име „гориви  $\text{NO}_x$ “).



# 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 (1 до 5) од количине образованог сумпор диоксида.



# Сумпорни оксиди

- Реагују са воденом паром из продуката сагоревања и настају  $\text{H}_2\text{SO}_3$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , чиме изазивају корозију металних површина.
- Еколошки проблем – изазивају киселе кише.
- Смањење видљивости.
- Делују штетно на дисајне органе, чак и у малим концентрацијама.
- Ометају процес фотосинтезе код биљака.



# Чврсте честице (врсте)

- Чађ (несагорели угљеник).
- Шљака (до 30 %, велики термички губици).
- Летећи пепео (велики извор механичког загађења).
- Тешки метали.



# Чврсте честице (узрок)

- Врста горива (садржај минералних материја, присуство адитива).
- Квалитет процеса сагоревања (непотпуно сагоревање).
- Врста постројења (нерегуларан рад постројења).



# Гасови са ефектом стаклене баште (дефиниција)

- Гасови који омогућавају Сунчевој светлости да продре до Земљине површине при чему делимично спречавају инфрацрвено зрачење Земље у Свемир.
- Најважнији представници:
  - угљен диоксид ( $\text{CO}_2$ )
  - метан ( $\text{CH}_4$ )
  - азот субоксид ( $\text{N}_2\text{O}$ )
  - флуороугљоводоници (HFC-ови)
  - перфлуороугљоводоници (PFC-ови)
  - сумпор хексафлуорид ( $\text{SF}_6$ )



# Гасови са ефектом стаклене баште ( $\text{CO}_2$ )



- Сматра се главним људским „доприносом“ емисији гасова стаклене баште (GHG).
- Главни извори су:
  - Сагоревање фосилних горива,
  - Дефорестација,
  - Производња цемента.



# Коефицијент емисије $\text{CO}_2$ $\text{KE}_{\text{CO}_2}$ (kg $\text{CO}_2/\text{GJ}$ )

■ 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 гас	73,90



# Начини смањења загађења ваздуха



- Техничко-технолошке методе.
- Мере преоријентације на чистије или чисте изворе енергије.



# Техничко-технолошке методе

---

1. Пре процеса сагоревања – **пречишћавање горива**
2. За време процеса сагоревања – примарни поступци (**измене у процесу сагоревања**)
3. После процеса сагоревања – секундарни поступци (**пречишћавање димних гасова**)



# Смањење емисије угљен монооксида и несагорелих угљоводоника ✓...

- Регулисањем процеса сагоревања (подешавање коефицијента вишка ваздуха).
- Мали захвати код стационарних постројења.



# Смањење емисије азотних оксида



- Примарни поступци (током процеса сагоревања).
- Секундарни поступци (после процеса сагоревања).



# Смањење емисије азотних оксида (примарни поступци)

- Оптимизација рада горионика.
- Контрола коефицијента вишка ваздуха (фино подешавање рада котла).
- Вишестепено довођење ваздуха у катао.
- Рециркулација димних гасова.
- Вишестепено довођење горива у катао.
- Горионици са ниском емисијом азотних оксида



# Смањење емисије азотних оксида (секундарни поступци)

- Селективна каталитичка редукција (СКР).
- Селективна некаталитичка редукција (СНКР).
- Комбиновани СНКР/СКР.
- Комбиновани поступци за одстрањивање сумпорних и азотних оксида ( $\text{SO}_x\text{-NO}_x$ )



# Смањење емисије сумпорних оксида



- Пречишћавање горива.
- Примарни поступци.
- Секундарни поступци.



# Смањење емисије сумпорних оксида - пречишћавање горива

- Код гасовитих – пречишћавање од водоник сулфида.
- Код течних – пречишћавање од сумпорних једињења.
- Код чврстих – није технички изводљиво.



# Смањење емисије сумпорних оксида (примарни поступци)



- Сагоревање у флуидизованом слоју (додавање кречњака у материјал слоја) – смањење емисије  $SO_x$  и до 90 %.



# Смањење емисије сумпорних оксида (секундарни поступци)



- Деле се на основу два критеријума:
  - према добијеном производу (мокри и суви) и
  - према обновљивости сорбента (регенеративни и нерегенеративни).



# Расположиве технологије за ОДГ

Технологија	Сировине	Нуспроизводи	Највећи садржај S у гориву	Највећа ефикасност ОДГ
<b>Влажни скрубери</b> – Испирање кречњаком – Испирање кречом – Испирање морском водом	Кречњак и вода Креч и вода Морска вода и кречњак или креч	Комерцијални гипс, талог, отпадна вода Морска вода третирана као отпад	3,5 % 3,5 % 3,5 %	95-99 % 95-99 % 90-95 %
<b>Суви скрубери са прскалицама</b>	Креч или калцијум оксид и вода	Мешавина калцијум сулфата, сулфита и летећег пепела	3,5 %	90-95 %
<b>Процеси са убризгавањем сорбента</b>	Кречњак или хидратисани креч	Мешавина калцијум сулфата, сулфита и летећег пепела	Н/Д	50 %
<b>Суви скрубери</b>	Кречњак или креч или доломит	Мешавина калцијум сулфата, сулфита и летећег пепела	1,0 %	50 %
<b>Обновљиви процеси</b>	Натријум сулфит или амонијак	S или SO <sub>2</sub> или H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> или амонијум сулфат	3,5 %	90-99 %
<b>Процеси за комбиновано уклањање SO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub></b>				



# Смањење емисије чврстих честица



- Чађ
  - редовне контроле процеса сагоревања,
  - оптимизација појединих параметара процеса сагоревања.
- Летећи пепео
  - издвајање у електростатичким филтерима, врећастим филтерима и циклонима.



# Мерење емисије загађујућих материја



- **Директно** – мерењем одговарајућим мерним уређајима:
  - $O_2$ ,  $CO$ ,  $NO$ ,  $NO_2$  и  $SO_2$
- **Индијектно** (прорачунске методе):
  - метода емисионих фактора,
  - специфични прорачуни засновани на саставу горива.



# Директно мерење емисије загађујућих материја



- Измерена вредност МОРА да се коригује (сведе) на референтне услове:

$$X_{\text{ref}} \left( \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{21 - O_{2\text{ref}}}{(21 - O_{2\text{izm}})} \cdot X_{\text{izm}} (\text{ppm}) \cdot \rho_X$$

$$X_{\text{ref}} (\text{ppm}) = \frac{21 - O_{2\text{ref}}}{(21 - O_{2\text{izm}})} \cdot X_{\text{izm}} (\text{ppm})$$

- $O_{2\text{ref}}$  је дефинисано за одговарајуће гориво и врсту постројења за сагоревање!



# Индиレクトно мерење емисије загађујућих материја

- Заснива на масеном билансу процеса и употреби емисионих фактора.

$$E \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] = A \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \cdot EF \left[ \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right] \cdot (1 - \eta)$$

- $E$  – укупна емисија,
- $A$  – НИВО АКТИВНОСТИ,
- $EF$  – емисиони фактор,
- $\eta$  – степен корисности (ефикасност) уређаја за пречишћавање димних гасова



# Врсте мерења емисије загађујућих материја

- Гаранцијска мерења (након изградње или реконструкције објекта).
- Појединачна мерења (мерење ради повремених контрола, а најмање једном у току године).
- Контролна мерења (мерење ради контроле рада постројења и уређаја).
- Гранична контролна мерења (мерење ради провере података о емисији)



# Прописи

- У Републици Србији „кровни“ пропис за контролу емисије штетних и опасних материја из процеса сагоревања је:
  - **„Уредба о граничним вредностима емисија загађујућих материја у ваздух из постројења за сагоревање“**
- Технички аспекти мерења прописани су одговарајућим стандардима SRPS, ISO, EN.