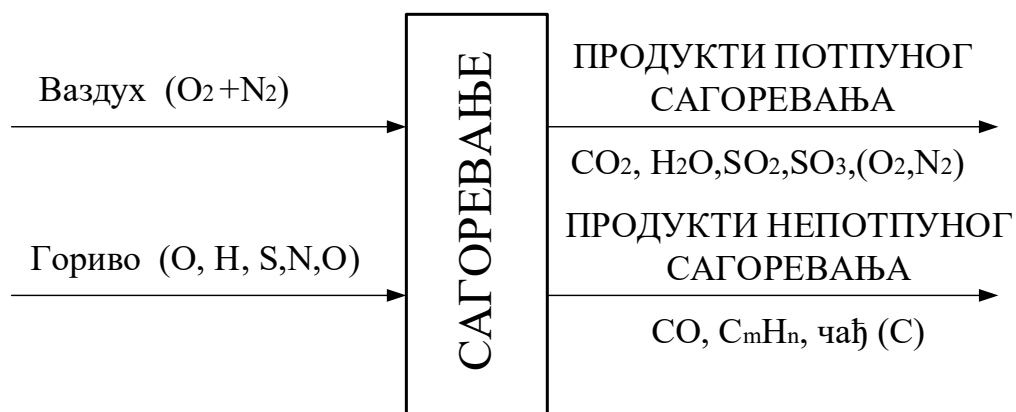


## Загађујуће компоненте у продуктима сагоревања

Класификација продуката сагоревања извршена је према следећим критеријумима:

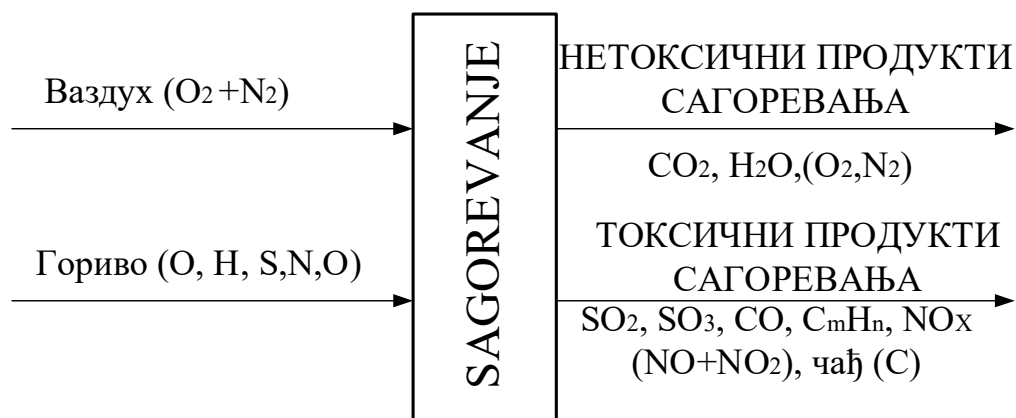
- према критеријуму потпуног/непотпуног сагоревања,
- према критеријуму токсичности,
- према агрегатном стању (гасовити, течни, чврсти),
- према времену настајања (примарни и секундарни),
- према извору загађења (стационарни и нестационарни),
- према врсти горива (чврста, течна и гасовита).

Класификација према критеријуму потпуног/непотпуног сагоревања приказана је на слици 1:



Слика 1.

Класификација према критеријуму токсичности приказана је на слици 2:



Слика 2.

Најважније загађујуће материје које се могу наћи у продуктима сагоревања су:

- угљен моноксид,
- несагорели угљоводоници или делимично,
- сагорели угљоводоници, као што су алдехиди,

- сумпорни оксиди ( $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ ),
- азотни оксиди ( $\text{NO}_x$ ), који се састоје од  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$ ,
- чврсте честице: чађ, шљака, летећи пепео и тешки метали,
- гасови стаклене баште – посебно  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$ .

### **Угљен моноксид и несагорели угљоводоници**

Узроци присуства  $\text{CO}$  и несагорелих угљоводоника у продуктима сагоревања су:

- недовољна количина ваздуха (оксидатора) у горивој смеси,
- недовољно висока температура сагоревања,
- недовољно време боравка реактанта у зони хемијске реакције,
- лоше мешање горива и ваздуха (нехомогеност гориве смеше).

Треба напоменути да је:

- $\text{CO}$  токсичан, спречава везивање кисеоника са хемоглобином,
- несагорели угљоводоници ( $\text{C}_m\text{H}_n$ ) су токсични, а неки су и канцерогени.

### **Азотни оксиди**

Могу настати од азота у ваздуху или од азота који се налази у гориву. Најважнији представници азотних оксида су  $\text{NO}$  и  $\text{NO}_2$  који формирају  $\text{NO}_x$  групу, а у мањим концентрацијама у продуктима сагоревања могу бити присутни и  $\text{NO}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$  и њихов утицај је занемарљив. Поред ових азотних једињења у продуктима сагоревања може се појавити и азот субоксид ( $\text{N}_2\text{O}$ ) – који има потпуно другачији утицај на непосредно окружење и посебно се проучава. Азотни оксиди утичу на појаву киселих киша и фото хемијског смога, образовање озона и оштећење озонског омотача.

### **Азот моноксид**

Постоје три начина настанка  $\text{NO}$ :

- термички  $\text{NO}$ ,
- промтни  $\text{NO}$ ,
- гориви  $\text{NO}$ .

Термички  $\text{NO}$ : 5-25% настаке из угља, 50-60% - из других врста горива.

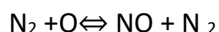
Промтни (брзи)  $\text{NO}$  – мање од 5% насталог  $\text{NO}$ .

Гориви  $\text{NO}$ : чини 70-80% укупног  $\text{NO}$ .

### **Термички $\text{NO}$**

Настаје реакцијом азота и кисеоника из ваздуха при високим температурама које владају у зони пламена, зависи од температуре, концентрације кисеоника и времена боравка на високим температурама.

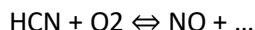
Механизам је први описао руски научник Зелдович 1948. године:





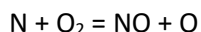
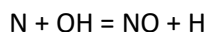
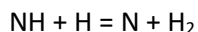
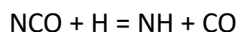
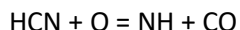
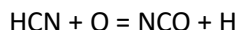
### Промптни NO

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:



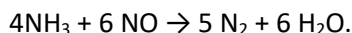
### Гориви NO

Гориви NO настаје реакцијом азота из горива (садржај азота у гориву креће се у опсегу 0,5-2,0 %).



Као што је познато, приликом загревања честице угља долази до његовог термичког разлагања праћеног издвајањем волатила - горивих испарљивих материја и трансформацијом угљене супстанце у кокс. Поред познатих састојака горивих испарљивих материја (угљоводоника, угљенмоксида и водоника) издвајају се и азотна једињења  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCN}$  и  $\text{C}_2\text{N}_2$ . Зависно од брзине загревања, крајње температуре, величине честице, као и врсте самог угља, издваја се 20 до 80 % присутног азота у угљу у виду испарљивих састојака. Преостали азот остаје у образованом коксном остатку. Овим се уводи појам "испарљивог" и "неиспарљивог" азота у гориву.

Оксидација испарљивог азота и азота из кокса одвија се на различит начин. Испарљиви азот обично реагује са кисеоником, при чему се образује NO. Даље, NO може реаговати са једним од полазних продуката, нпр.:



NO може бити редуциран и од стране других састојака горивих испарљивих материја. Једна од могућих реакција је и између NO и CO при чему као резултат настају  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$ . Ова реакција бива каталитички убрзана на површини коксне честице. Оксидација азота из коксног остатка је веома сложена и до данас недовољно истражена. У данашњим условима широко прихваћена подела је још увек само на гориви и термички NO.

### Сумпорни оксиди

Сумпорни оксиди настају од сумпора који се налази у саставу горива. Што се сумпорних оксида тиче имамо:

- $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  који представљају стабилне продукте сагоревања и
- $\text{SO}$  и  $\text{S}_2\text{O}$  који представљају нестабилне продукте сагоревања и утичу на образовање  $\text{SO}_2$ .

Треба напоменути да  $\text{SO}_3$  чини само неколико процената од укупне количине образованог сумпор диоксида па је зато његов утицај на околину условно занемарљив.

Настанак сумпорних оксида у процесима сагоревања носи са собом две групе проблема.

Технички проблема: они 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 проблема: одговорни су за појаву киселих киша, смањење видљивости, делују штетно на дисајне органе (чак и у малим концентрацијама), ометају процес фотосинтезе код биљака.

За смањење емисије сумпомих оксида постоји више могућности:

I - обрадом горива пре процеса сагоревања - десулфуризацијом горива,

II - деловањем у току самог процеса сагоревања,

III - деловањем на димне гасове после процеса сагоревања, а пре испуштања у околину.

Ове могућности, примењене на фосилна горива, свде се реално:

код природног земног гаса - на одстрањивање евентуално присутног сумпорводоника ( $\text{H}_2\text{S}$ ) - поступак I,

код продуката прераде нафте - на одстрањивање сумпорних једињења поступком хидродесулфуризације - поступак I,

на гасификацију и производњу горивог гаса са минималном количином сумпора - поступак II,

на сагоревање у флуидизованом слоју - поступак II,

на десулфуризацију димних гасова - поступак III.

на одстрањивање пирита ( $\text{FeS}_2$ ) из угља - поступак I,

на одстрањивање органског сумпора превођењем угља поступцима ликвидације у течна горива - поступак I,

гасификацију и производњу горивог гаса са минималном количином сумпора - поступак I,

Једини процес сагоревања у коме је могуће током процеса - "IN SITU" деловати на количину сумпорних оксида је процес сагоревања у флуидизованом слоју.

### **Чврсте честице**

Присуство чврстих честица у продуктима сагоревања своди се на:

- чађ (несагорели угљеник),
- шљаку (до 30%, велики термички губици),
- летећи пепео (велики извор механичког загађења)
- тешке метале

Присуство чврстих честица у продуктима сагоревања зависи од врсте горива (садржај минералних примеса, присуство адитива), квалитет процеса сагоревања (непотпуно сагоревање), врста постројења (нерегуларан рад постројења).

### **Гасови стаклене баште**

Овде спадају гасови који омогућавају сунчевој светлости да продре до земљине површине уз делимично спречавање инфрацрвеног излучивања планете у атмосферу. Ту спадају:

- угљен диоксид,

- CFC гасови,
- метан,
- озон,
- азотни оксиди, највише  $N_2O$ .

### **Методе за смањење емисије продуката сагоревања**

Начини односно мере за смањење загађења ваздуха деле се у две групе метода:

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

Техничко-технолошке методе обухватају:

- 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).

### **Смањење емисије угљен монооксида и несагорелих угљоводоника**

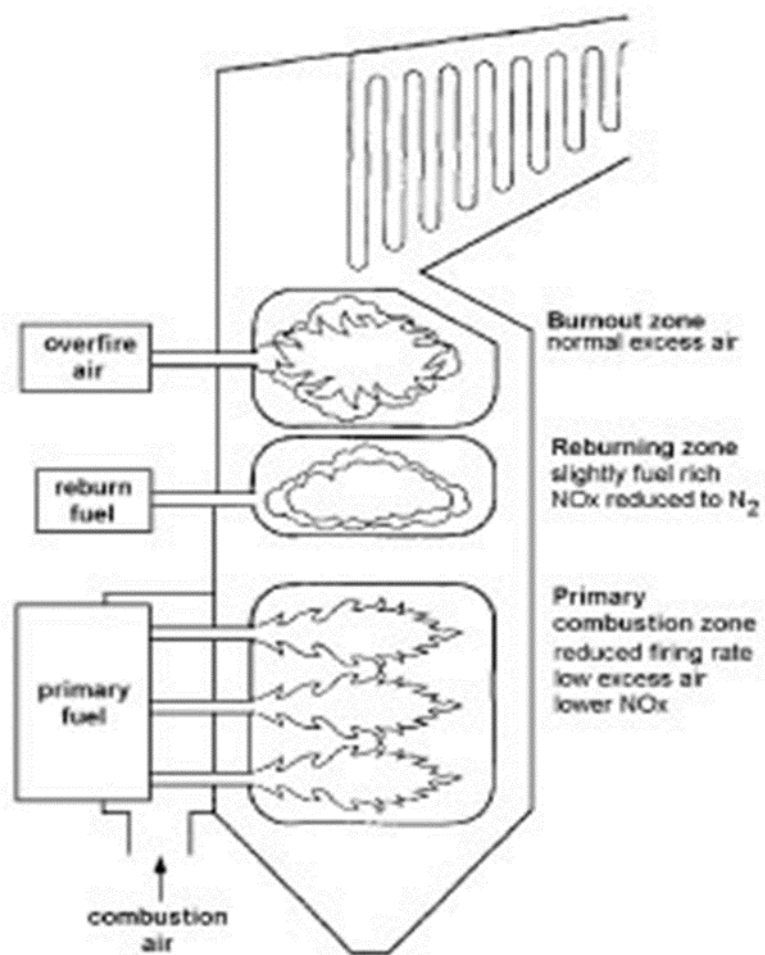
Смањење емисије угљен монооксида и несагорелих угљоводоника може се постићи:

- регулисањем процеса сагоревања,
- применом малих реконструкционих захвата код стационарних постројења.

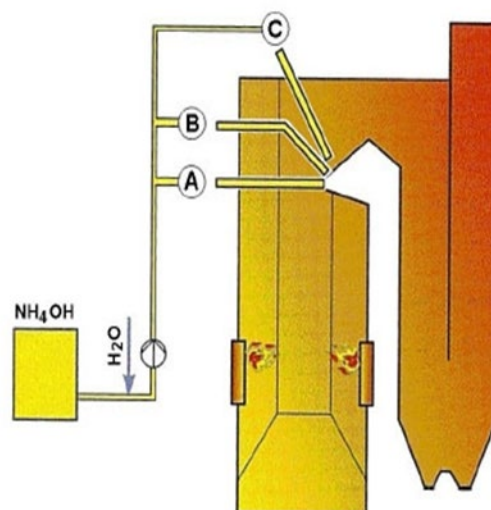
### **Смањење емисије азотних оксида**

Емисија азотних оксида редукује се применом:

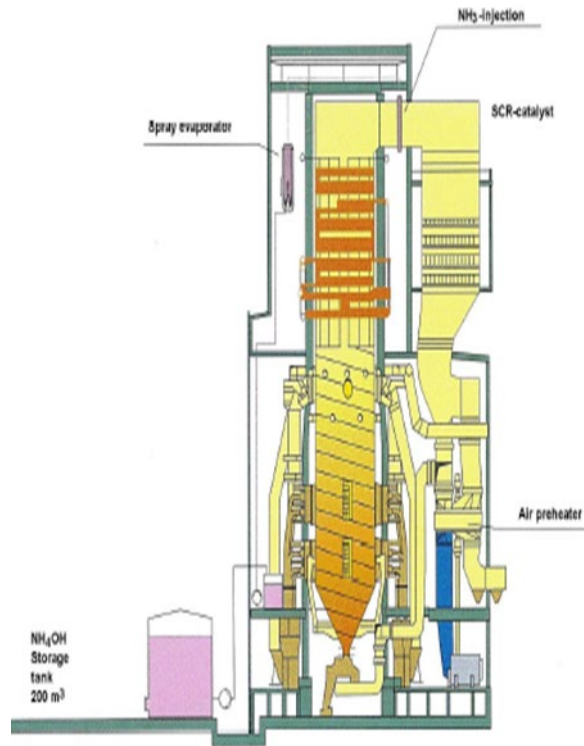
- примарних поступака у које спадају: оптимизација рада горионика (контролом коефицијента вишка ваздуха, финим подешавањем рада котла), вишестепено довођење ваздуха у котлао које се најчешће одвија у два степена: примарни ваздух (70-90% од укупно потербне количине) – сагоревање се одвија при ниским температурама, секундарни ваздух – доводи се изнад зоне примарног сагоревања и у тој зони сагоревање је потпуно, а температуре релативно ниске и ограничава се настајање термичког  $NO$ ,
- рецикулације димних гасова, где се део димних гасова (20-30 % укупне количине) температуре 350-400 °C враћа у ложиште или у горионик. Такође је могуће извршити мешање димних гасова са ваздухом за сагоревање постиже се смањење температура сагоревања и смањење образовања термичког  $NO$ ,
- вишестепеног довођења горива – основна идеја овог процеса је стварање зона богатих и сиромашних горивом при чему се стварају услови за трансформацију образованог  $NO_x$  у  $N_2$ . Постоји неколико начина да се ово постигне, а то су: регулација протока горива, померање довода горива, тростепено сагоревање, употреба горионика са ниском емисијом азотних оксида, секундарних поступака у које спадају:
  - Селективна некаталитичка редукција SNCR,
  - Селективна каталитичка редукција SCR.



Слика 3. Вишестепено сагоревање



Слика 4. Селективна некаталитичка редукција SNCR



Слика 5. Селективна каталиктичка редукција SCR

### Ефикасност метода

|                            |                |
|----------------------------|----------------|
| LowNOx горионици           | 25 – 60 %      |
| Степенасто увођење ваздуха | 10 – 40 %      |
| Степенасто увођење горива  | 50 – 60 %      |
| SCR                        | 50 – 80 (90) % |
| SNCR                       | 20 – 50 %      |