

A decorative graphic consisting of a vertical line and a horizontal line intersecting at the center of the slide.

Сагоревање гасовитог горива

Утицајни параметри

- Састав смеше
- Хомогеност смеше
- Брзина струјања смеше
- Присуство инертних компоненти у смеши

- Почетна температура горива и ваздуха
- Начин припаљивања смеше
- Топлотни губици

- Специфичности констукције горионика
- Температура сагоревања

Време сагоревања гасовитог горива

- Време потребно за образовање смеше
- Време потребно да се смеша загреје до температуре паљења
- Време потребно за одвијање хемијских реакција

$$t_{sag} = t_m + t_{pr} + t_{HR}$$

$$t_{sag} = t'_m + t_{HR}$$

$$t_{sag} \square t_m$$

Време сагоревања гасовитог горива

- Сагоревање веома брзо
 - молекуларна и турбулентна дифузија – скраћују време мешања и предгревања гориве смеше
 - Ланчане реакције се одвијају великом брзином – високе концентрације реактаната и високе температуре сагоревања.

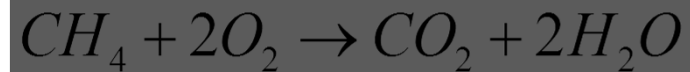
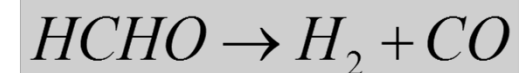
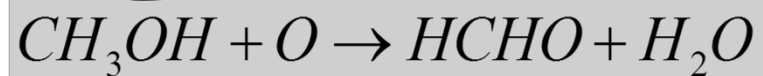
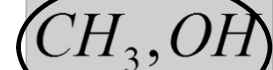
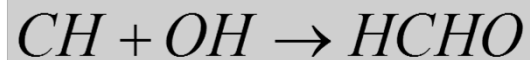
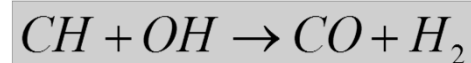
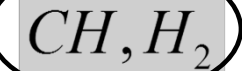
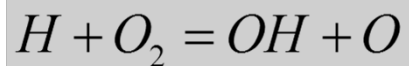
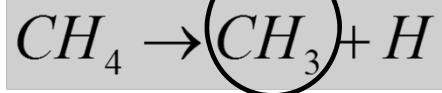
Сагоревање гасовитих горива

- дифузионо сагоревање
- кинетичко сагоревање
- комбиновано сагоревање (део ваздуха у смеши са горивом, а додатна количина ваздуха обезбеђује се процесом дифузије).

Начини увођења гаса и ваздуха

- Паралелна струја гаса и ваздуха, угао сусретања струја 0°
- Попречна струја гаса или ваздуха на другу струју, угао сусрета струја од 30 до 90°
- Супротномерно струјање гаса и ваздуха, угао сусрета 180° .

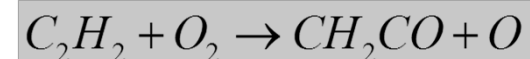
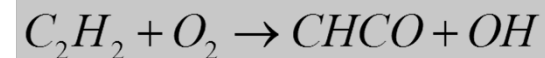
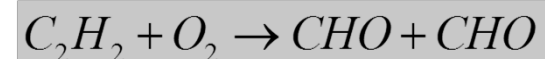
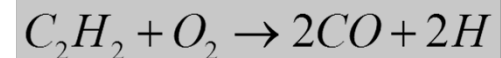
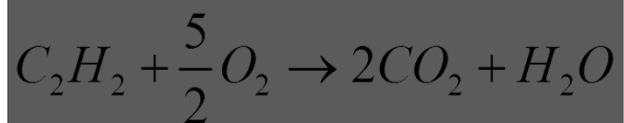
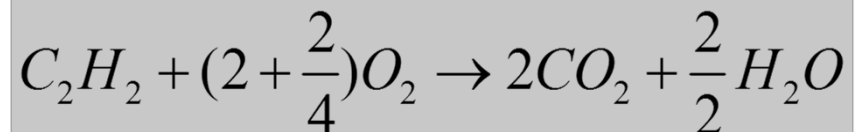
Сагоревање угљоводоника



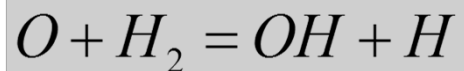
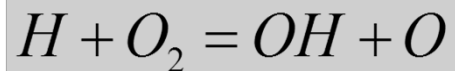
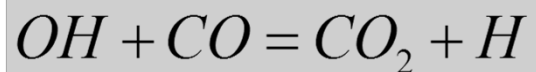
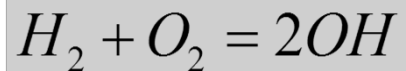
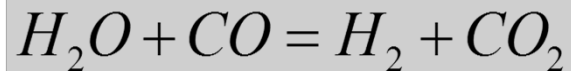
- Сложене ланчане реакције
- Реакције са дугим периодом индукције – почетне реакције се одвијају споро и спори пораст температуре

Процеси сагоревања

- Већина хемијских реакција које се одвијају у процесима сагоревања имају сложен механизам, тј. не одвијају се директно по стехиометријским једначинама, већ преко низа међуреакција уз образовање различитих једињења која нису присутна на почетку и крају реакције



Сагоревање угљен монооксида

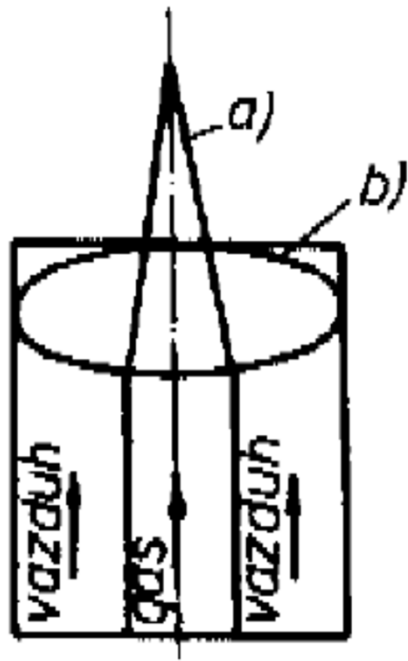


- Присуство водене паре и водоника игра значајну улогу у процесу сагоревања угљен монооксида, јер обезбеђује формирање носилаца реакције (ОН и Н), који су услов за даљи ток реакције.

Дифузионо сагоревање

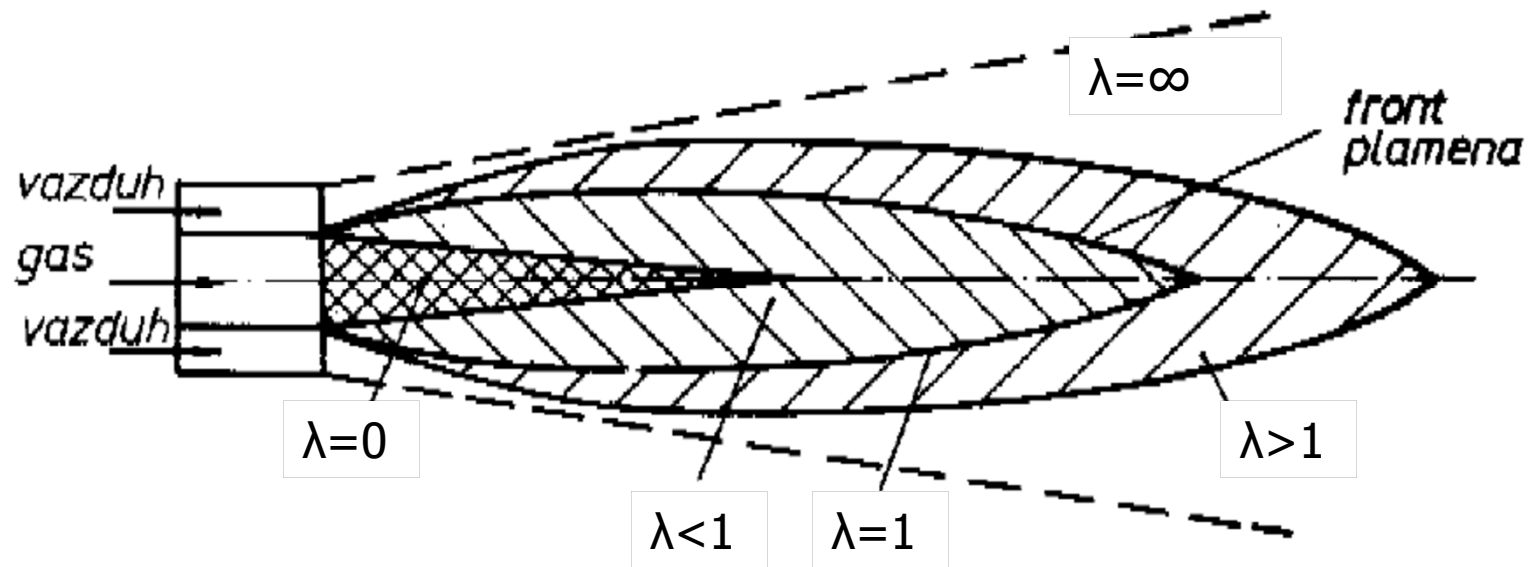
- Процес где се припрема гориве смеше одвија непосредно у зони одвијања процеса сагоревања
- Најпростији горионик је концентрични цевни горионик кроз који се одвојено доводе гасовито гориво и ваздух; гориво се доводи кроз горионик малог пречника у ваздух који струји кроз концентричну цев већег пречника
- У зависности од режима струјања образује се ламинарни или турбулентни пламен
- Основни феномен је молекуларна дифузија која се јавља услед разлика у концентрацијама на граници између зоне горива (гаса) и оксидатора (ваздуха)

Дифузионо сагоревање у ламинарној струји



- Количина ваздуха већа од количине потребне за сагоревање горива (случај а).
- Пламен је издужен по оси горионика.
- Већа количина горива (случај б), ширина пламена се повећава.

Анализа структуре ламинарног пламена



$\lambda<1$

Дифузија горива према спољним зонама, фронт пламена се помера напред

$\lambda=1$

Стехиометријска смеша, фронт пламена се стабилизује на овој граници

$\lambda>1$

Вишак оксидатора, не може се одржати стабилан пламен

Дифузионо сагоревање у турбулентној струји

- Знатно сложеније како са аспекта физичко-хемијских појава, тако и са аспекта хемијске кинетике
- Основни параметри су брзина и степен турбуленције
- Прелазак из ламинарног у турбулентни режим одвија се при $Re=2500$ у зависности од врсте горива и примарног ваздуха.

Кинетичко сагоревање

- Претходно припремљена смеша гасовитог горива и ваздуха у стехиометријском односу
- У зони формирања пламена ова смеша може да сагорева у ламинарном или турбулентном режиму
- Дужина пламена

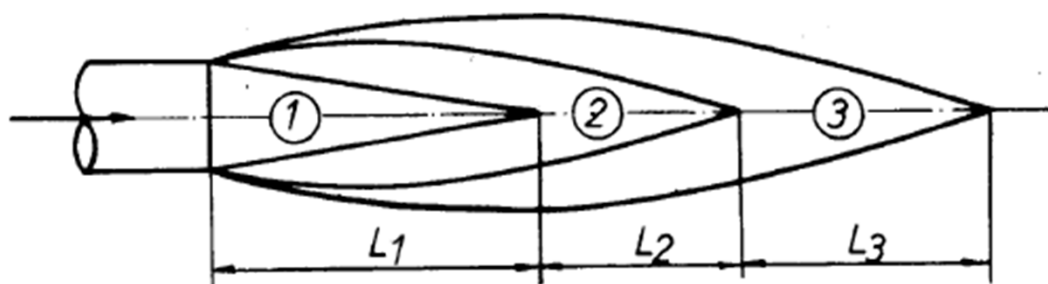
$$L_{pl} \approx \frac{r_m w_s}{U_N}$$

r_m - брзина струјања свеже смеше

w_s - пречник млазнице горионика

u_N - нормална брзина сагоревања

Дужина турбулентног пламена



1 – зона хладног дела

2 – зона највеће измене материје

3 – зона догоревања

Дужина наведених зона је директно пропорционална брзини струјања и пречнику млазнице горионика, а обрнуто је пропорционална брзини сагоревања.

Уређаји за сагоревање гасовитих горива

- Номинална снага горионика
- Регулација горионика по тоplotној снази
- Номинални притисак гаса и ваздуха испред горионика
- Номинална релативна дужина пламена
-

Уређаји за сагоревање гасовитих горива

- Номинална снага горионика
 - максимална снага уз задовољење захтева о дозвољеним емисијама
 - зависи од протока гаса, топлотне моћи гаса, степена корисности
- Регулација горионика по тоplotној снази
 - Коефицијент граничног регулисања горионика – однос m_{ac} и m_{in} топлотне снаге
 - Коефицијент радног регулисања горионика – однос номиналне и m_{in} топлотне снаге.

Уређаји за сагоревање гасовитих горива

- Номинални притисак гаса и ваздуха испред горионика
 - номинални притисак гаса – притисак гаса непосредно испред горионика који одговара номиналној снази
 - номинални притисак ваздуха – притисак ваздуха испред горионика који одговара номиналној снази

Уређаји за сагоревање гасовитих горива

- Номинална релативна дужина пламена
 - растојање дуж осе пламена од излазног пресека горионика, при номиналној снази, до тачке где концентрација CO_2 износи 95% максималне вредности при $\lambda=1$
- Специфични капацитет горионика
 - Однос масе горионика и номиналне снаге

Класификација горионика

- Начин мешања гаса и ваздуха
- Начин довођења ваздуха
- Номинални притисак гаса и ваздуха
-
- Начин регулације
- Врста гаса
-

Начин мешања гаса и ваздуха

- Гас се доводи без примарног вазуа, мешање само на основу дифузије ($\lambda=0$)
- Гас помешан са примарним вазухом, доводи се секундарни ваздух дифузијом ($\lambda<1$)
- Гас помешан са вазухом, мешање завршено до излаза из горионика – ејекторски горионици - усисан ваздух ($\lambda>1$)
- Гас помешан са вазухом, мешање није завршено до излаза из горионика – принудно довођење ваздуха ($\lambda>1$).

Номинални притисак гаса и ваздуха

- Дифузиони горионици ниског и средњег притиска
- Ејекторски горионици ниског, средњег и високог притиска
- Горионици са принудним довођењем ваздуха ниског и високог притиска (довођење ваздуха уз помоћ вентилатора).

A decorative graphic consisting of a vertical line and a horizontal line intersecting at the center of the slide.

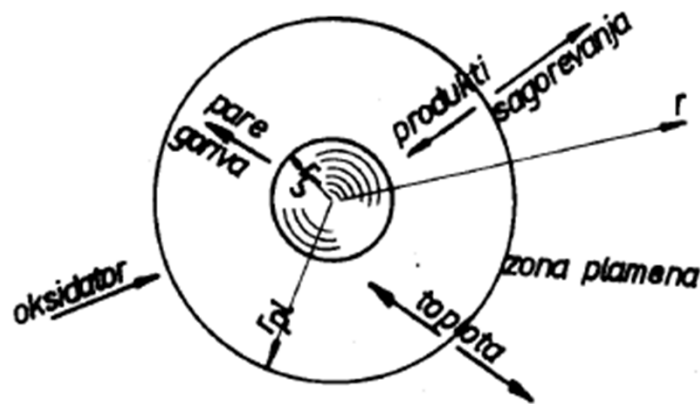
Сагоревање течних горива

Физички модел сагоревања капљице горива

- Сферна симетрија
- Процес је квазистационаран
- Занемарују се принудна и природна конвекција
- Занемарљив је утицај суседних капљица
- Процес је изобарни
- Температура је униформна у целој капљици
- $D = \text{const.}$
- $c_p = \text{const}$
- $\lambda = \text{const}$
- $Le = \text{const}$ (Луисов број)
- Сагоревање се одвија у зони мале дебљине
- Сагоревање се одвија у зони мале дебљине, јер је брзина сагоревања већа од брзине дифузије
- Нема акумулације горива у простору између капљице и пламена

$$Le = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p \cdot D}$$

Сагоревање капљице течног горива



При сагоревању капљице горива могу се дефинисати две карактеристичне области:

I област – између капљице и пламена $r_s < r < r_{pl}$, у овој области присутне су паре горива и продукти сагоревања

II област – ван пламена $r_{pl} < r < \infty$, у овој области присутни су ваздух и продукти сагоревања

За исправљање горива и загревање пара горива топлота се доводи из зоне пламена. Паре горива се крећу према фронту пламена, а ваздух из околине дифузијом се креће ка фронту пламена.

Продукти сагоревања се из зоне пламена дифузијом транспортују према капљици и у околну атмосферу.

A decorative crosshair consisting of a vertical line and a horizontal line intersecting at the center of the slide.

Сагоревање чврстог горива

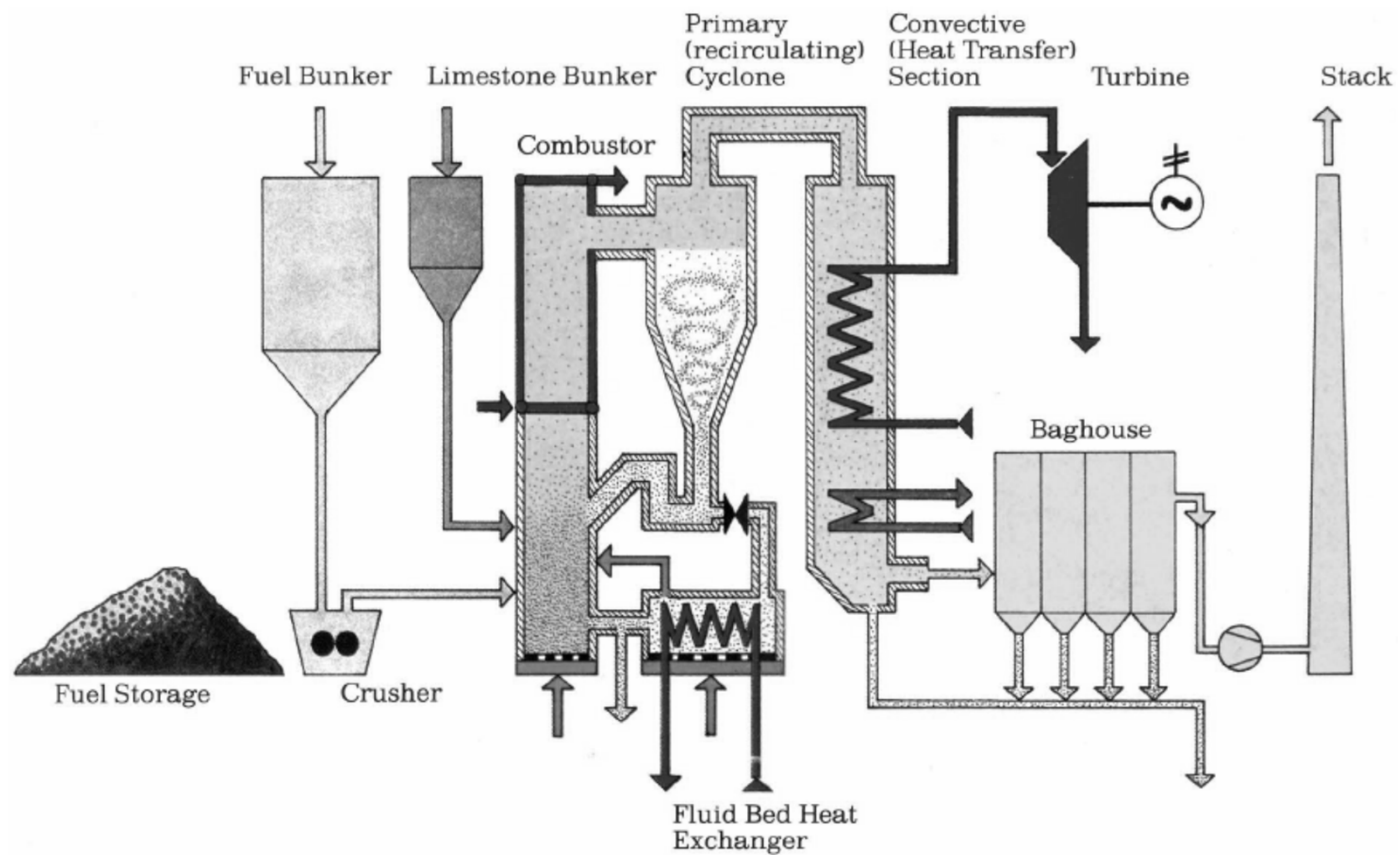
Технологије

- Сагоревање на решеци – као комад
 - Гранулација 5 - 50 mm
 - Брзина загревања – неколико K/s
 - Време сагоревања – 1 min – 1 h
- Сагоревање у флуидизованом слоју – дробљен
 - Гранулација 1 - 5 mm
 - Брзина загревања – 100 – 1000 K/s
 - Време сагоревања – 1 min
- Сагоревање у лету – у спрашеном стању
 - Гранулација 100 μ m
 - Брзина загревања – 10000 K/s
 - Време сагоревања – 1 s

Сагоревање у флуидизованом слоју

- Вишегориве карактеристике – могуће је сагоревати како различите врсте горива, тако и горива лошијег квалитета – ниске топлотне моћи са високим садржајем пепела и влаге, као и отпад из различитих процеса)
- Изванредан пренос топлоте
- Директно везивање сумпорних оксида током процеса сагоревања додавањем кречњака у слој
- Нижа температура сагоревања (1073-1123 K), чиме се смањује емисија оксида азота и смањује могућност појаве топљења пепела
- Мањи трошкови за припрему горива (није потребно млевење)
- Висок степен сагоревања

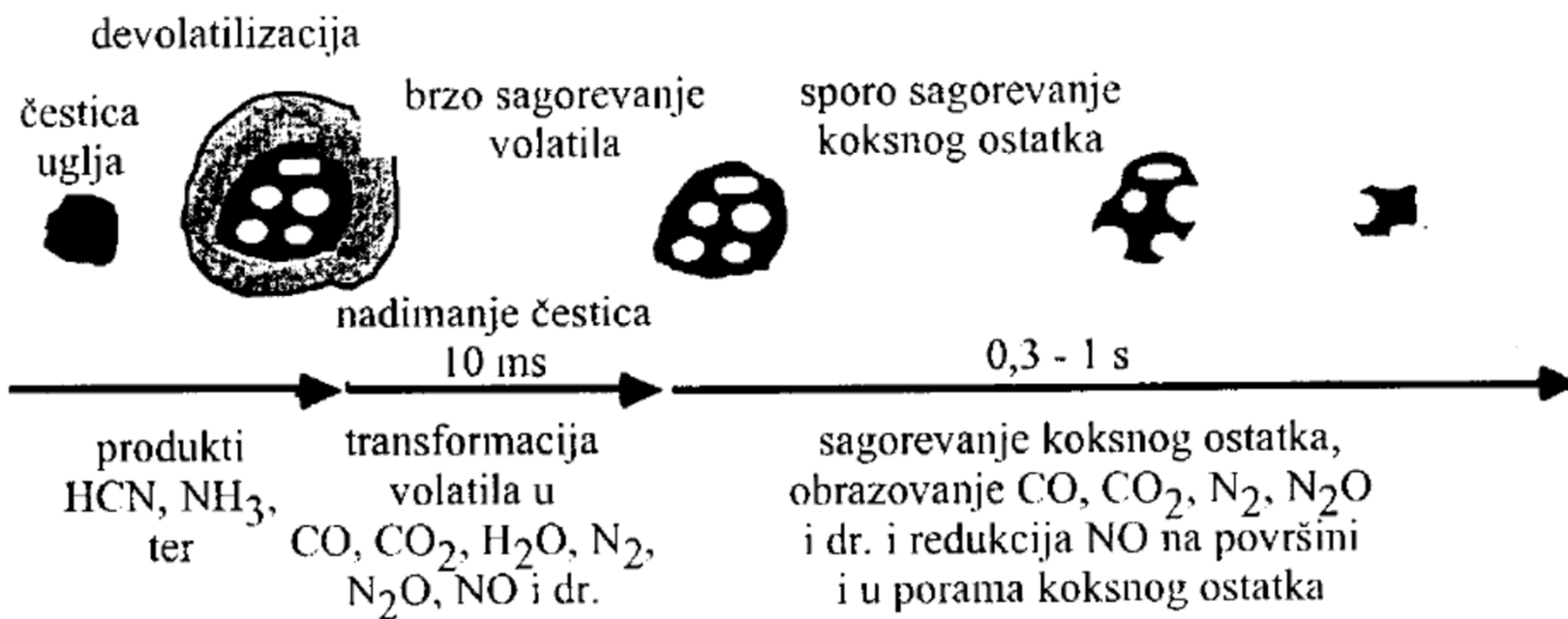
Сагоревање у флуидизованом слоју



Сагоревање угља

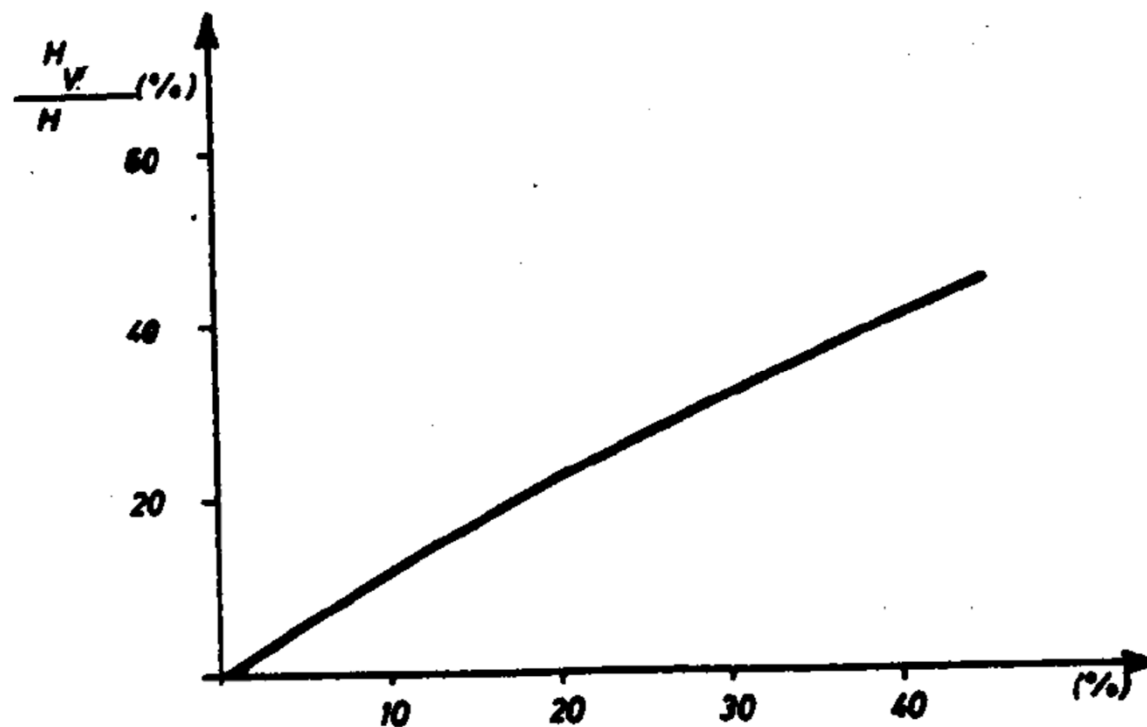
- Сложен процес у поређењу са сагоревањем течних и гасовитих горива
- Увожењем у ложиште честица угља се термички разлаже
 - гасовити продукти – волатили – хомогено сагоревање
 - Сагоревање волатила предмешаним кинетичким пламеном, у случају брзог термичког разлагања и веома брзог мешања – одвојено од честице угља
 - Сагоревање волатила дифузионим пламеном везаним за честицу или на растојању у непосредној близини честице
 - чврсти остатак – коксни остатак – хетерогено сагоревање
- Сагоревање волатила је много брже у односу на време сагоревања коксног остатка

Сагоревање угља



Шематски приказ процеса који се одвијају током сагоревања честице угља

Сагоревање угља



Однос топлотних моћи волатила и угља зависно од садржаја волатила у угљу

Сагоревање угља

- Период закашњења паљења волатила
- Период сагоревања волатила
- Период закашњења паљења коксног остатка
- Период сагоревања коксног остатка

Период закашњења паљења волатила

- Временски интервал од тренутка увођења честице угља у ложиште до појаве видног паљења (у овом периоду честица се загрева и термички разлаже и волатили образују смешу са ваздухом)

Волатили

- Према елементарној анализи
 - Испарљиви угљеник
 - Водоник
 - Азот
 - кисеоник
- Према техничкој анализи
 - $C_mH_n(CH_4)$
 - H_2
 - CO
- Према агрегатном стању
 - Гасовити
 - Течни (тер)

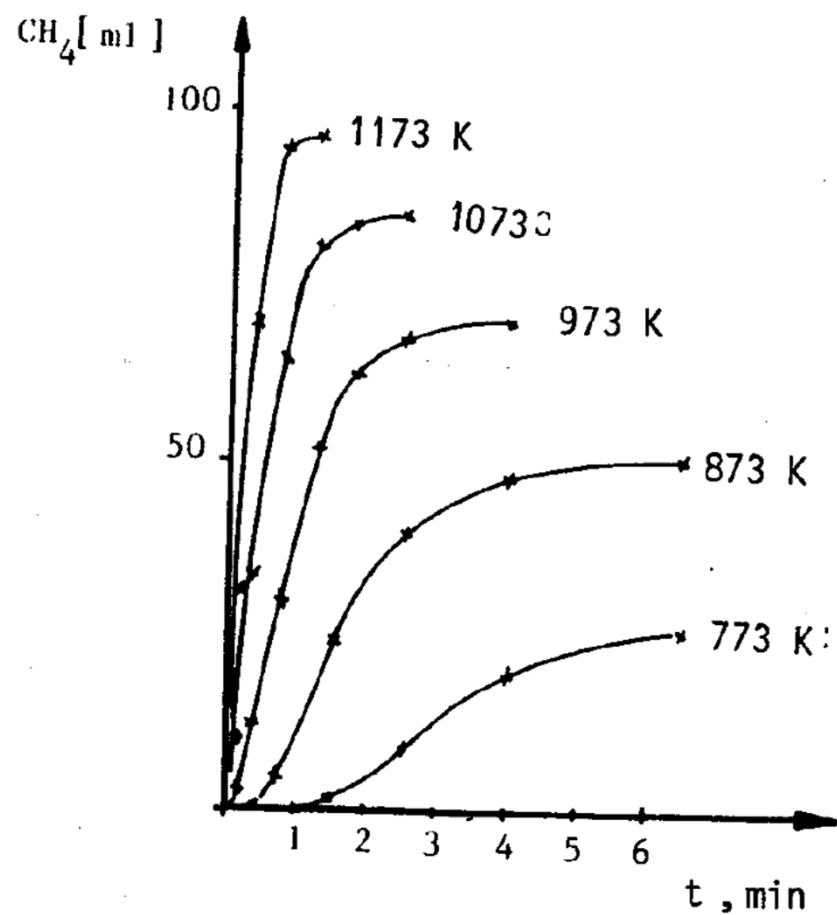
Волатили

- Зависно од места издавања волатила
 - Спољашње – издавање волатила одвија се само по спољној површини честице (зависи само од преноса топлоте од околног медијума ка честици)
 - Унутрашње – појава се одвија унутар честице угља – зависи од преноса топлоте унутар честице и индиректно од преноса топлоте од околног медијума ка честици; количина унутрашњих волатила је већа од количине спољашњих
- Зависно од времена
 - Примарни волатили – први доспевају у непосредну околину честице, могу се сматрати једнаким спољашњим волатилима
 - Секундарни волатили – на спољашњој површини се јављају после одређеног времена, потребног за њихово издавање унутар честице и пролаз до спољашње површине, односно после времена потребног за разлагање тежих, течних волатила

Волатили

- Количина и састав зависе од
 - Врсте угља
 - Величине честица
 - Брзине загревања
 - За велике брзине загревања закон издвајања волатила је експоненцијалан
 - За мале брзине загревања закон издвајања волатила је линеаран
 - Максималне температуре
 - Највећи део волатила се издвоји од увођења честице до постизања максималне температуре
 - Количина волатила је директно пропорционална максималној температури
 - Времена
 - утиче при нижим температурама (критична температура је 900-1000 °C)

Волатили



Издајање метана у зависности од температуре и времена

Период закашњења паљења

- Зависи од

- Карактеристика честица

- Састав – већи садржај волатила краћи период закашњења
 - Величина честица – постоји минимални период закашњења паљења на одређеном притиску и температури,

- Околних услова

- Температура – са порастом температуре смањује се период закашњења паљења
 - Притисак
 - Концентрација кисеоника

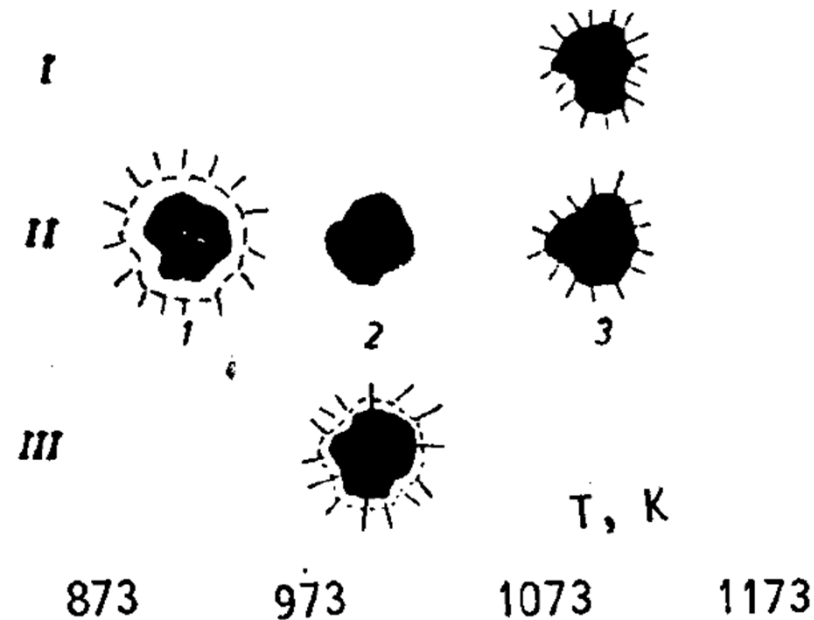
Период сагоревања волатила

- Период од паљења волатила до краја њиховог видљивог сагоревања
- Паљење волатила објашњава се топлотном теоријом паљења и као такво зависи од количине топлоте настале термохемијском реакцијом и од количине топлоте која се одводи
- Паљење је одређено кинетичким режимом, јер се дифузиони утицај може занемарити

Период сагоревања волатила

- Угљеви са већим садржајем волатила пале се на нижим температурама
- Количина топлоте настала сагоревањем волатила омогућава континуално паљење и сагоревање коксног остатка
- Период сагоревања волатила зависи од величине честица на други степен (дифузиони режим сагоревања)
- До паљења долази само када се локална концентрација волатила у мешавини са ваздухом налази у оквиру концентрационих граница самопаљења

Период сагоревања волатила

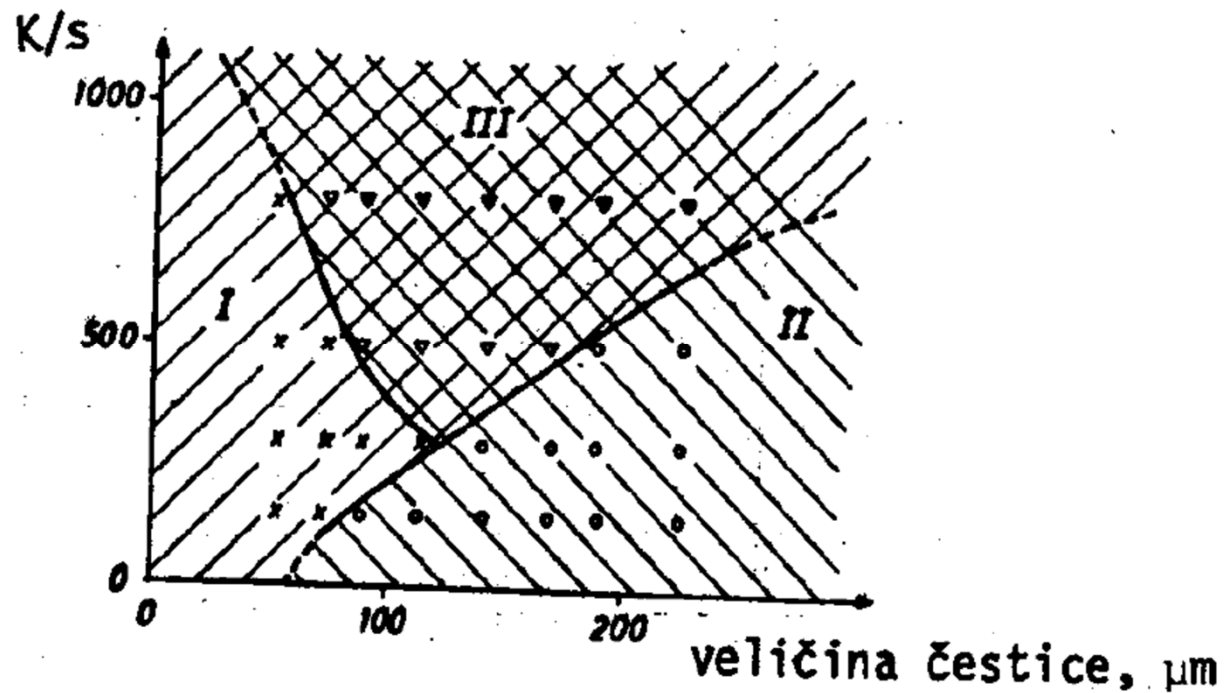


I – до паљења долази само на површини честице угља

II – прво долази до паљења волатила, а после њиховог сагоревања долази до паљења коксног остатка

III – паљење волатила и у току сагоревања волатила долази до паљења коксног остатка

Период сагоревања волатила



- антацит се пали само према механизму I
- угљеви са већим садржајем волатила пале се на сва три начина

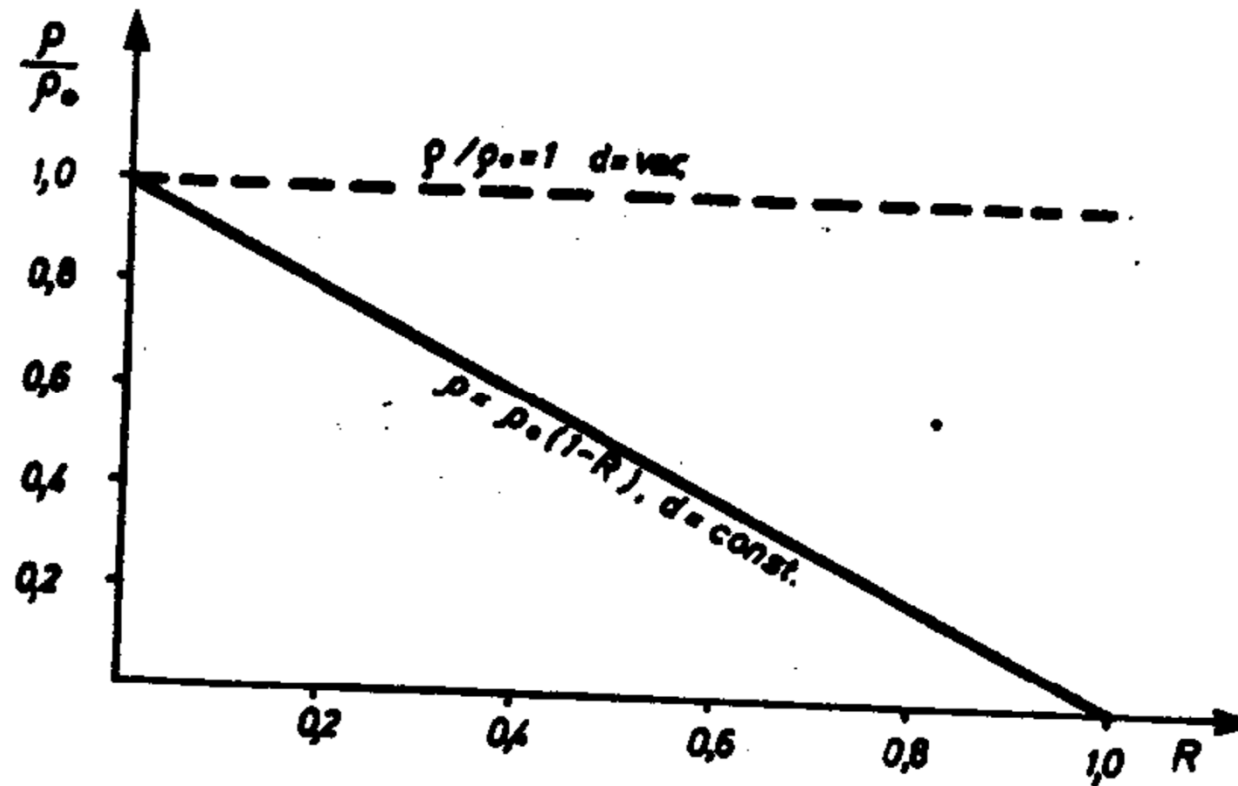
Период закашњења паљења коксног остатка

- Период од краја сагоревања волатила до почетка сагоревања коксног остатка
- Овај период може, а не мора да постоји
- Код угљева са већим садржајем волатилана настаје количина топлоте довољна за паљење коксног остатка, па период закашњења паљења не постоји
- Уколико је количина топлоте настала сагоревањем волатила мала, потребно је довести допунску количину топлоте за паљење и сагоревање коксног остатка
- Период закашњења паљења коксног остатка директно зависи од величине честице, а обрнуто од температуре

Период сагоревања коксног остатка

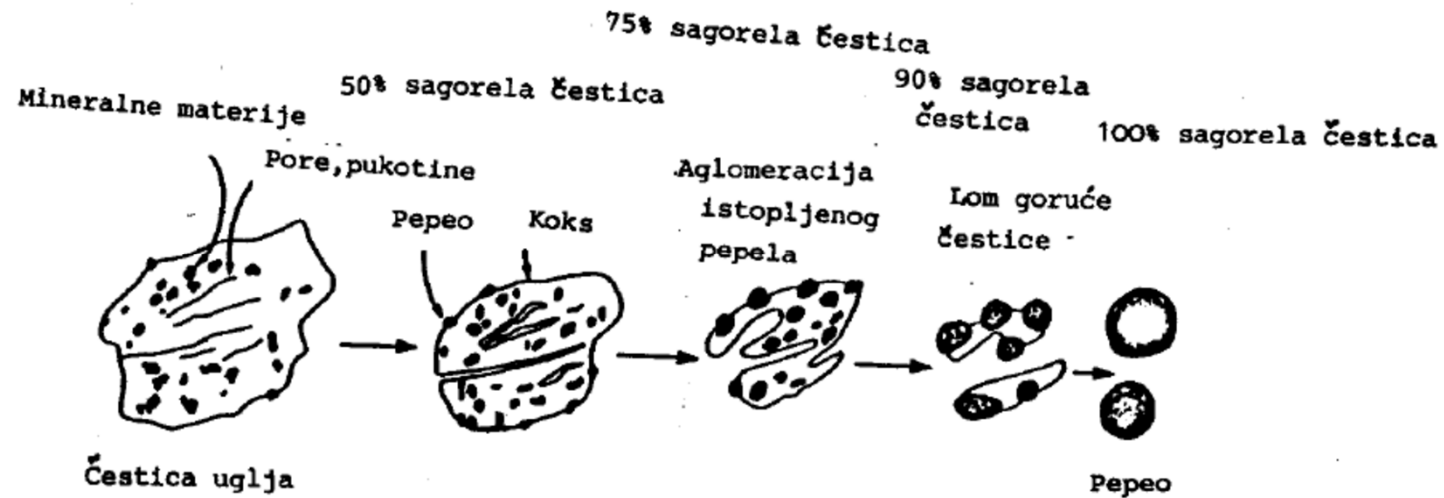
- Период од почетка паљења коксног остатка до краја његовог сагоревања
- Најзначајнија фаза сагоревања, јер се ослобађа највећа количине топлоте и представља најдужу фазу у сагоревању угља тј. одређује трајање целокупног процеса сагоревања честице угља
- На период сагоревања коксног остатка утиче структура коксног остатка
- Процес сагоревања коксног остатка може се одвијати
 - На спољној површини честице
 - Унутар честице
 - Реалан процес се налази између ова два гранична случаја

Период сагоревања коксног остатка



- Сагоревање на спољашњој површини (густина константна)
- Сагоревање унутар честице (пречник константан)

Период сагоревања коксног остатка



Сагоревање кокса