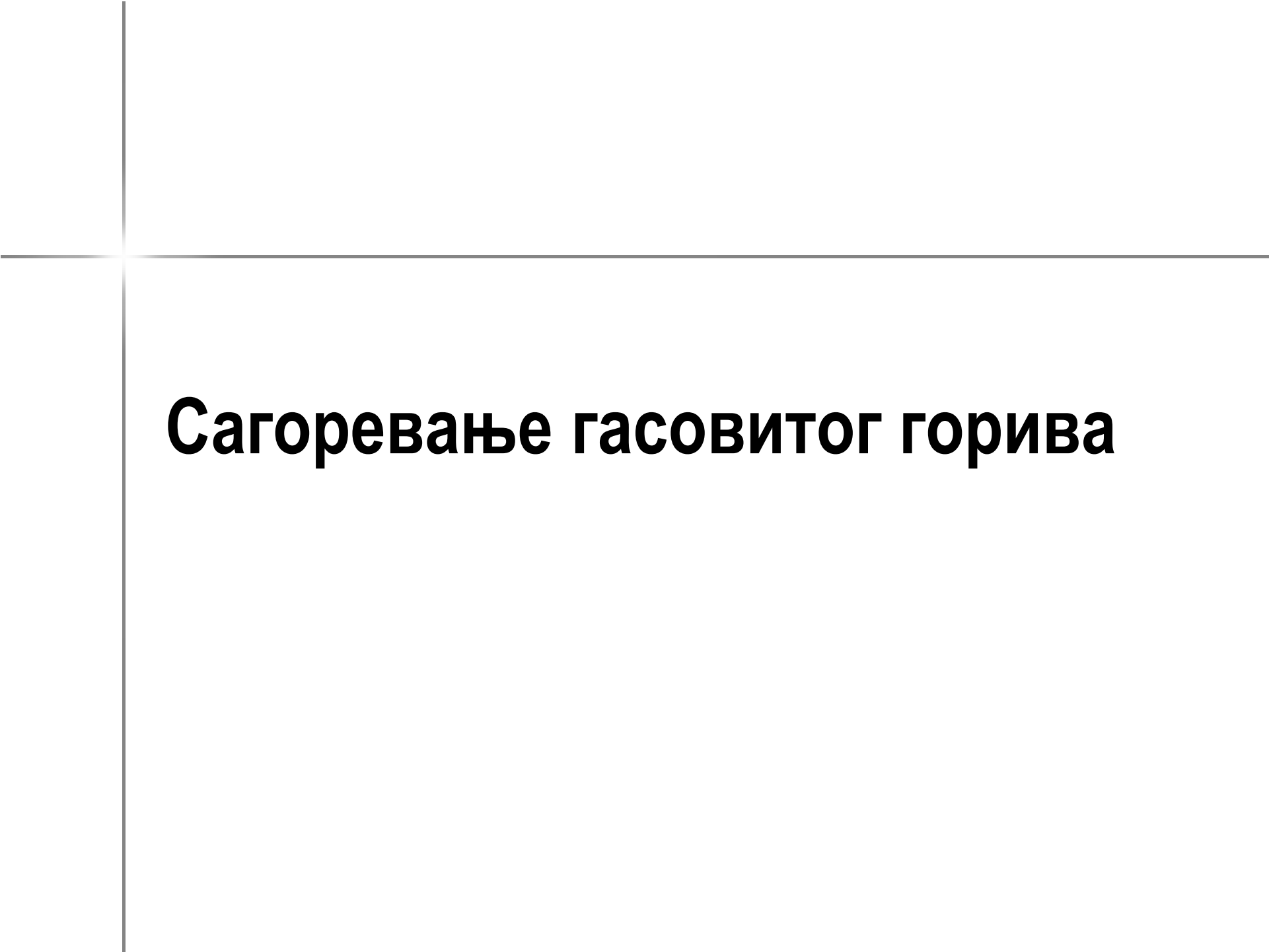


A decorative crosshair consisting of a vertical line and a horizontal line intersecting at the center of the slide.

# **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  $0^\circ$
- Попречна струја гаса или ваздуха на другу струју, угао сусрета струја од  $30$  до  $90^\circ$
- Супротномерно струјање гаса и ваздуха, угао сусрета  $180^\circ$ .

# 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  $\text{CO}_2$  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

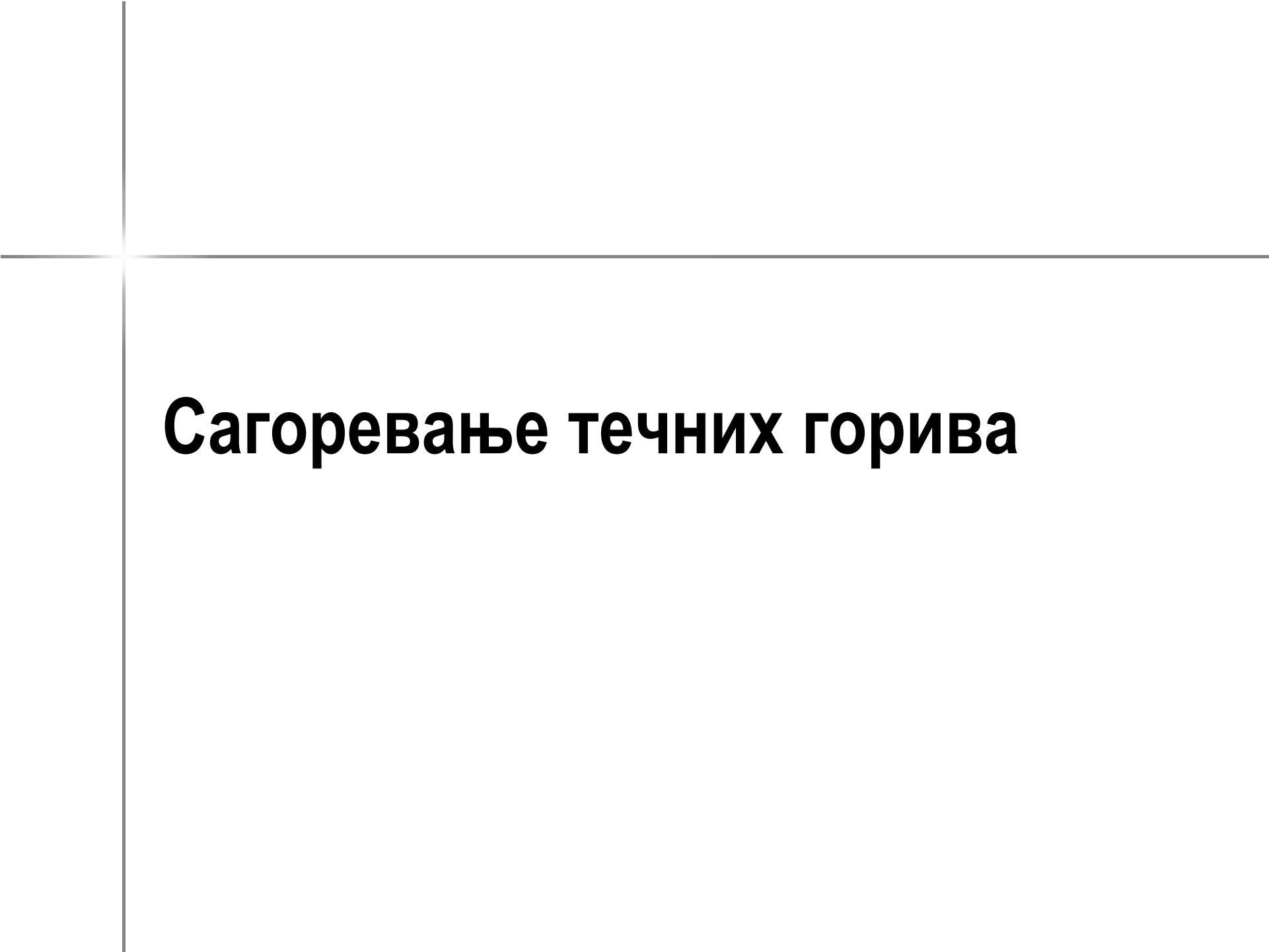
---

- 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.

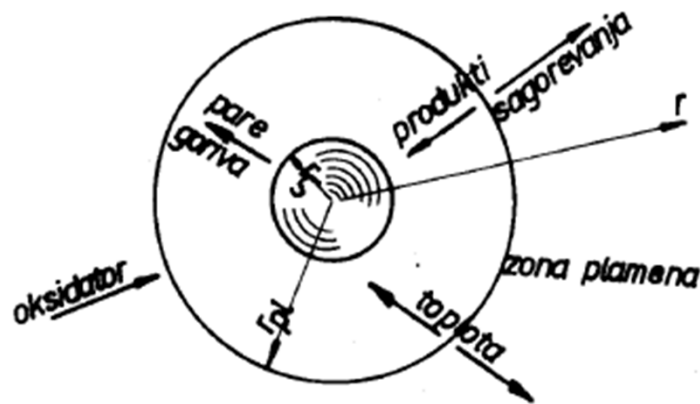
# **Сагоревање течних горива**

# 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



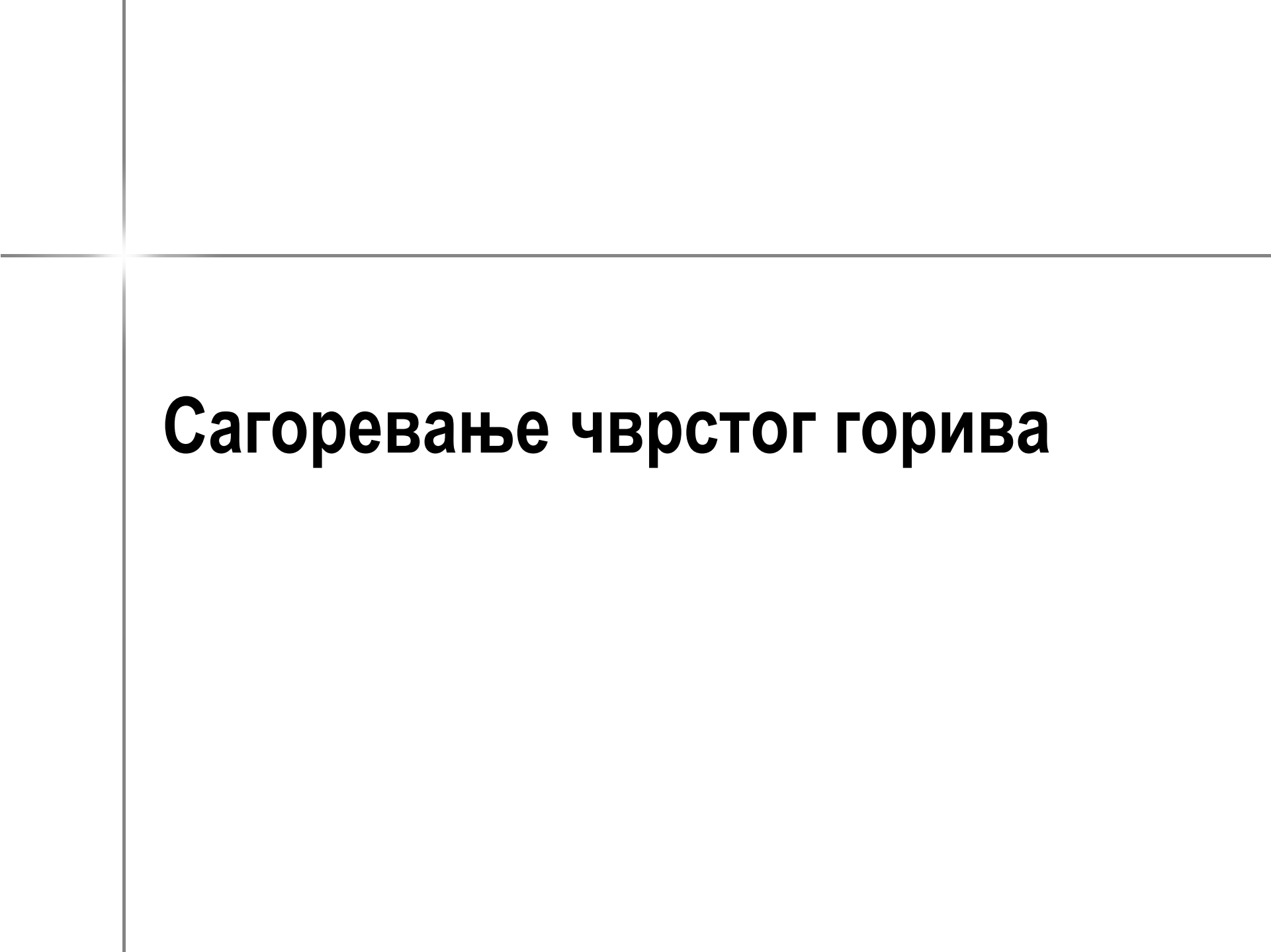
При сагоревању капљице горива могу се дефинисати две карактеристичне области:

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

---

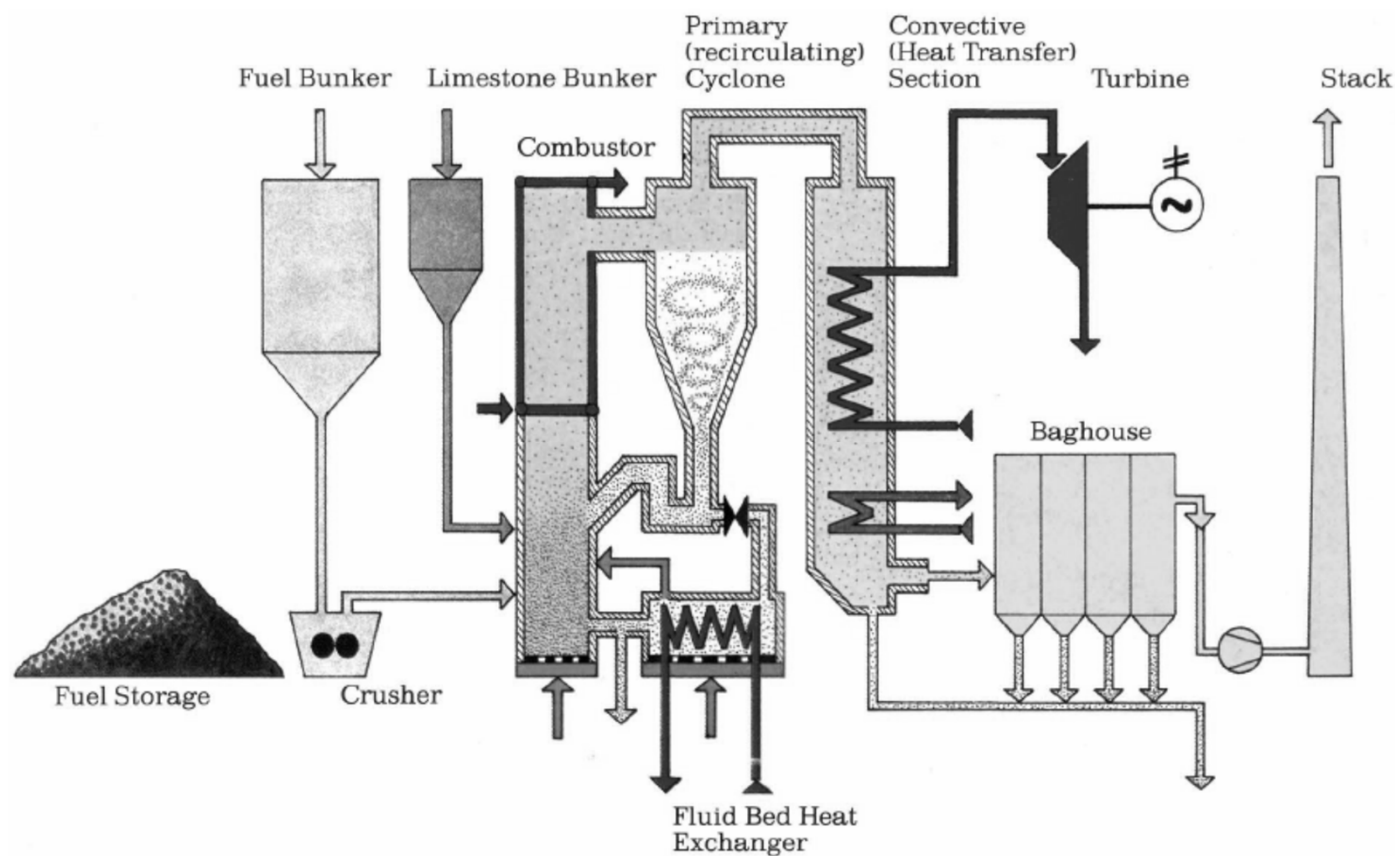
- Сагоревање на решеци – као комад
  - Гранулација 5 - 50 mm
  - Брзина загревања – неколико K/s
  - Време сагоревања – 1 min – 1 h
- Сагоревање у флуидизованом слоју – дробљен
  - Гранулација 1 - 5 mm
  - Брзина загревања – 100 – 1000 K/s
  - Време сагоревања – 1 min
- Сагоревање у лету – у спрашеном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

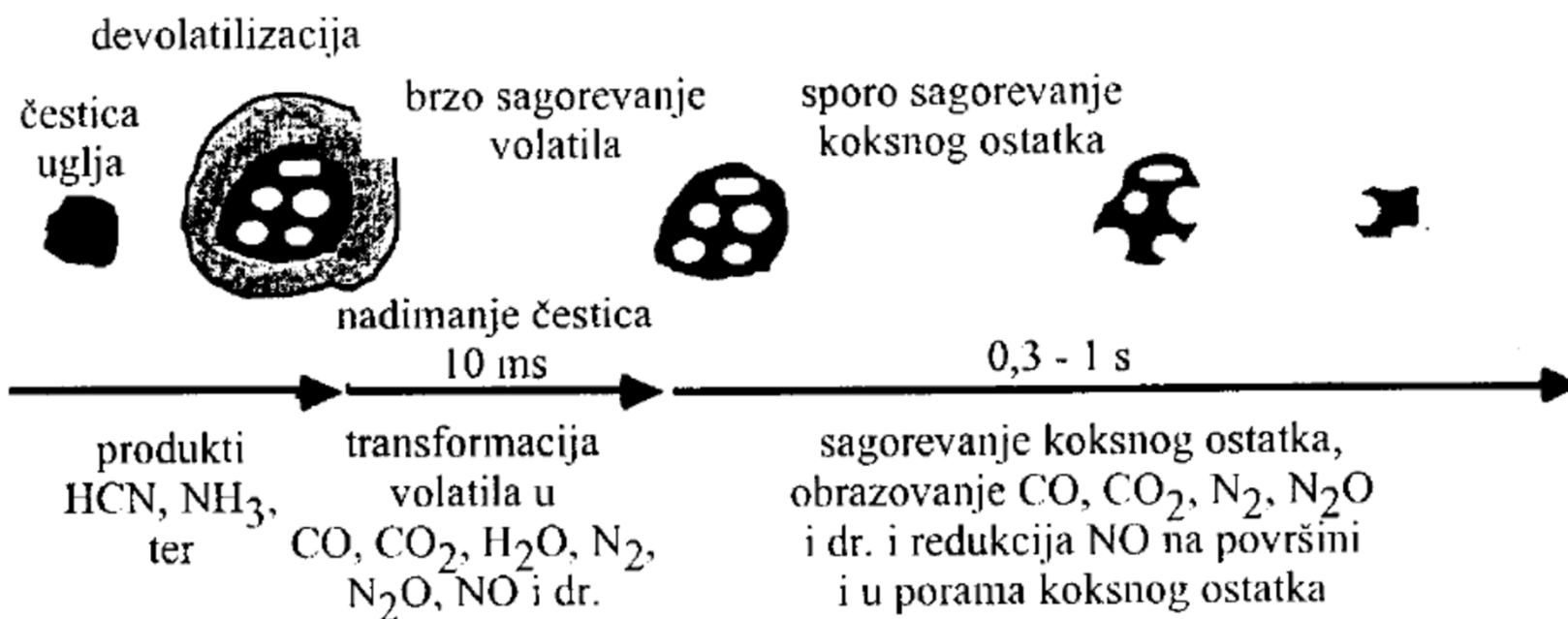


# Сагоревање угља

---

- 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

---

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

# 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

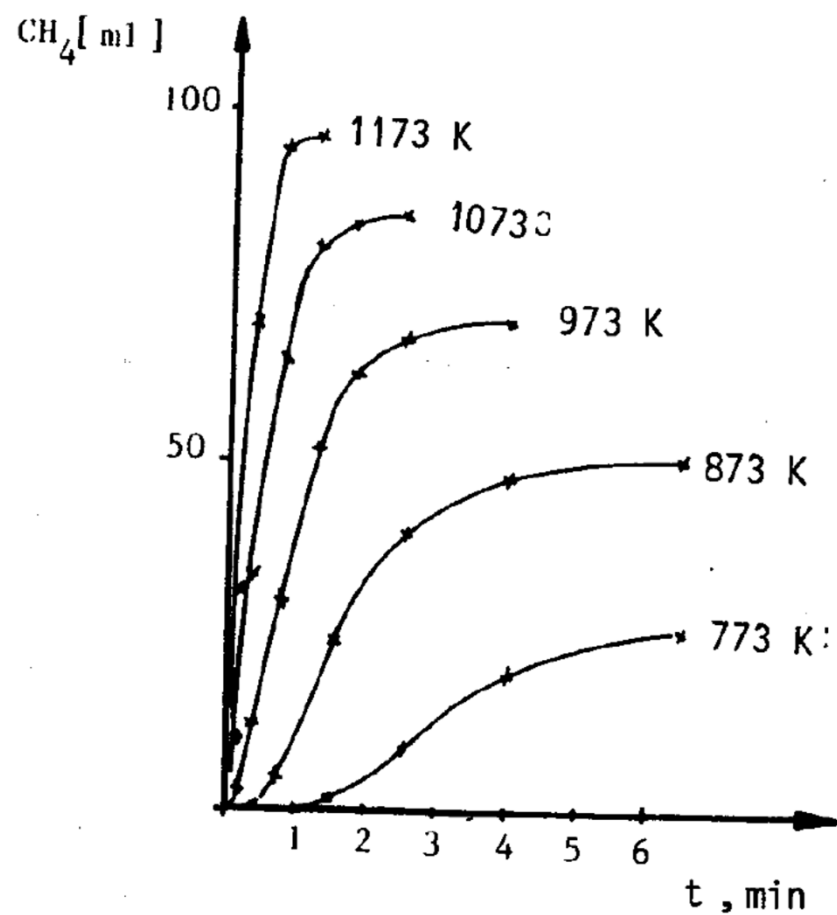
---

- Зависно од места издвајања волатила
  - Спољашње – издвајање 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 издвајање 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 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)

# 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

---

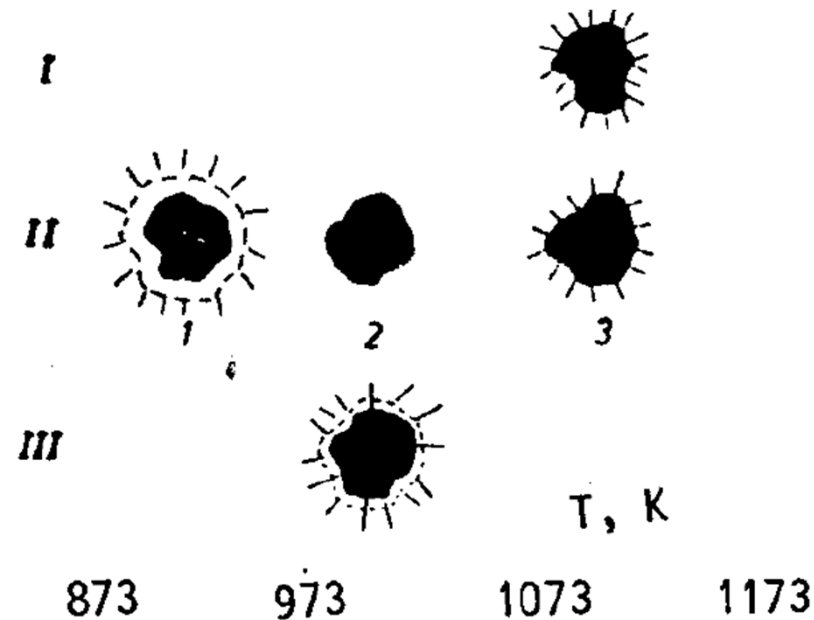
- Период од паљења волатила до краја њиховог видљивог сагоревања
- Паљење волатила објашњава се топлотном теоријом паљења и као такво зависи од количине топлоте настале термохемијском реакцијом и од количине топлоте која се одводи
- Паљење је одређено кинетичким режимом, јер се дифузиони утицај може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

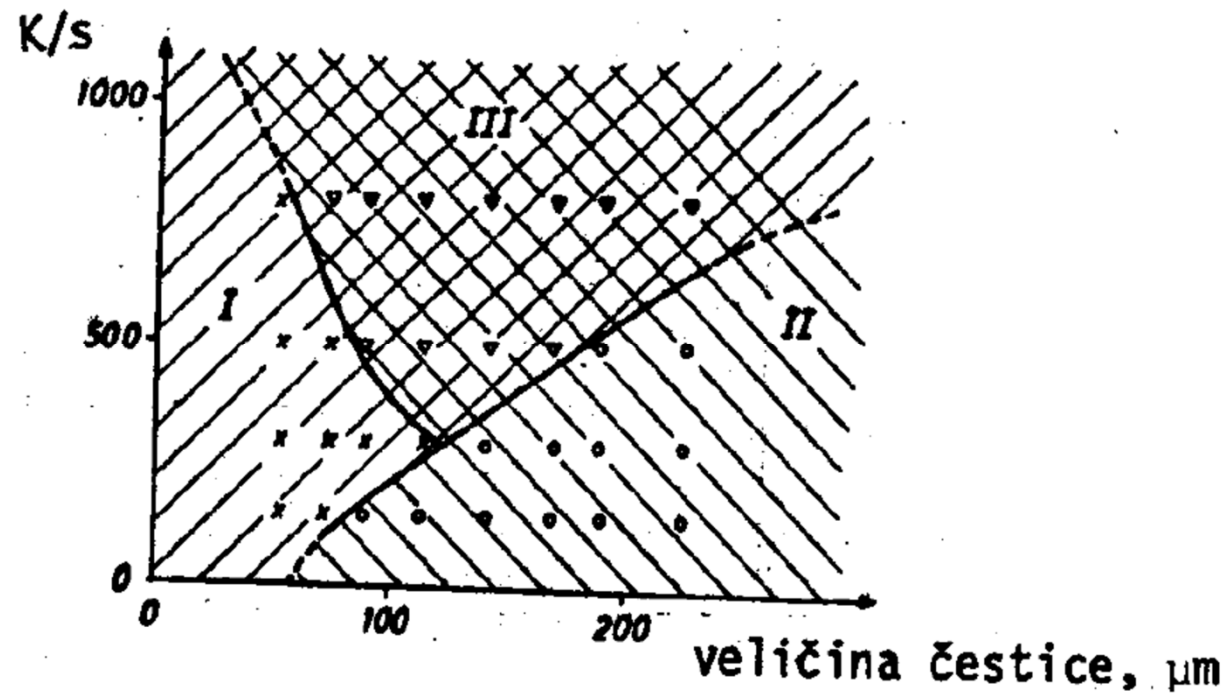


I – до паљења долази само на површини честице угља

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

---

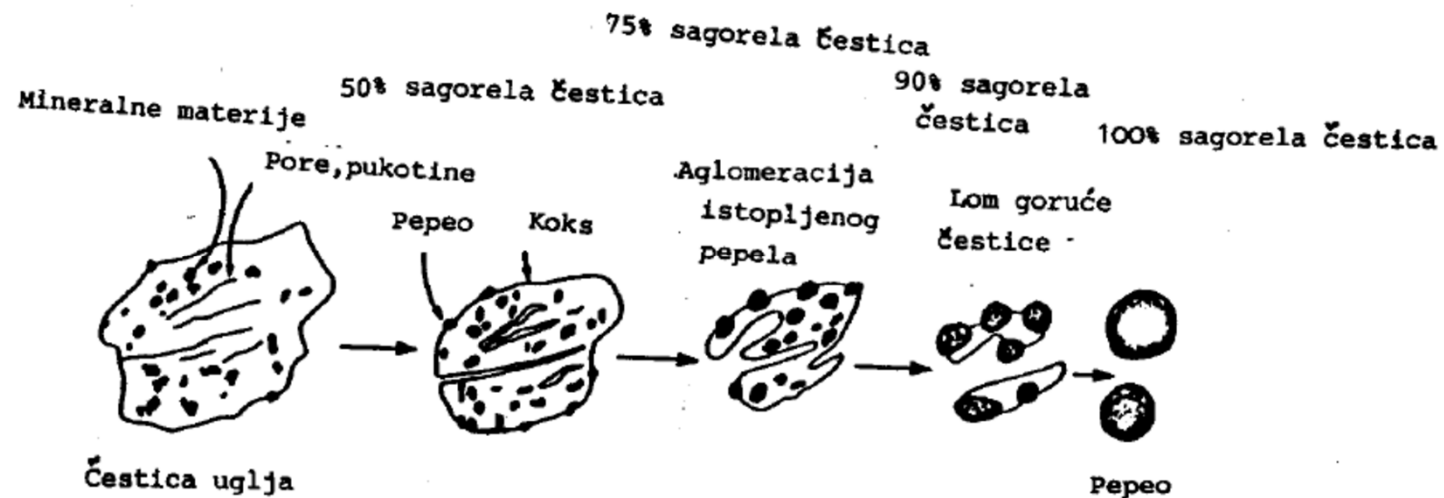
- Период од краја сагоревања волатила до почетка сагоревања коксног остатка
- Овај период може, а не мора да постоји
- Код угљева са већим садржајем волатилана настаје количина топлоте довољна за паљење коксног остатка, па период закашњења паљења не постоји
- Уколико је количина топлоте настала сагоревањем 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 кокса