



Физичке и физичко-хемијске појаве у процесу сагоревања



Сагоревање

■ Сложен процес

- Процеси струјања (у општем случају хетерогени процеси струјања)
- Пренос топлоте
- Пренос масе
- Промена фаза (топљење, испаравање, кондензација)
- Хемијска кинетика



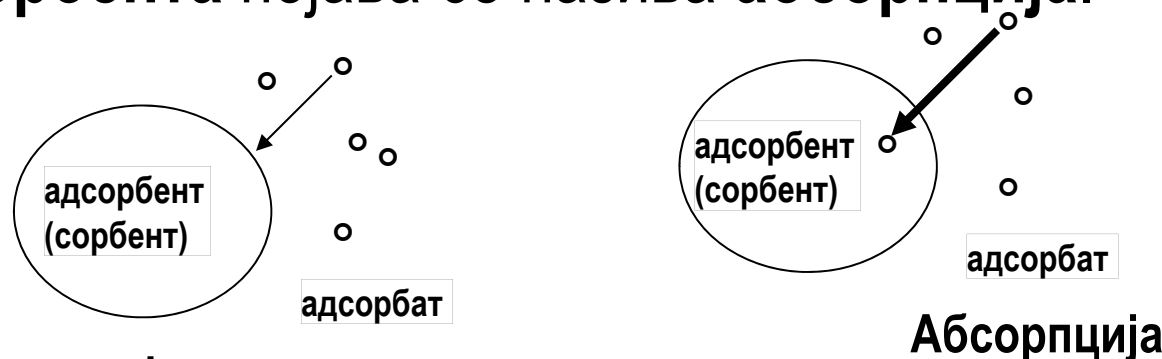
Механизми везивања

- **Физички** – Ван дер Валсовим међумолекуларним силама, ослобађа се количина топлоте која је реда величине топлоте промене фазе адсорбата
- **Хемијски** – при коме молекули обе материје међусобно реагују дајући хемијска једињења, ослобађа се знатно већа количина топлоте. Хемијска адсорпција је релативно спора, јер је енергија активације сразмерно висока.



Адсорпција

- Хетерогени процес при коме **површина чврсте или течне фазе** (адсорбент или сорбент) **прихвата атоме, јоне или молекуле из раствора или гаса** (адсорбата) који је окружују.
- Ако адсорбат продире у **унутрашњост адсорбента** појава се назива **абсорпција**.



Адсорпција

Абсорпција

Гориви технички гасови у процесима
заваривања, школска 2019/20, 3. предавање

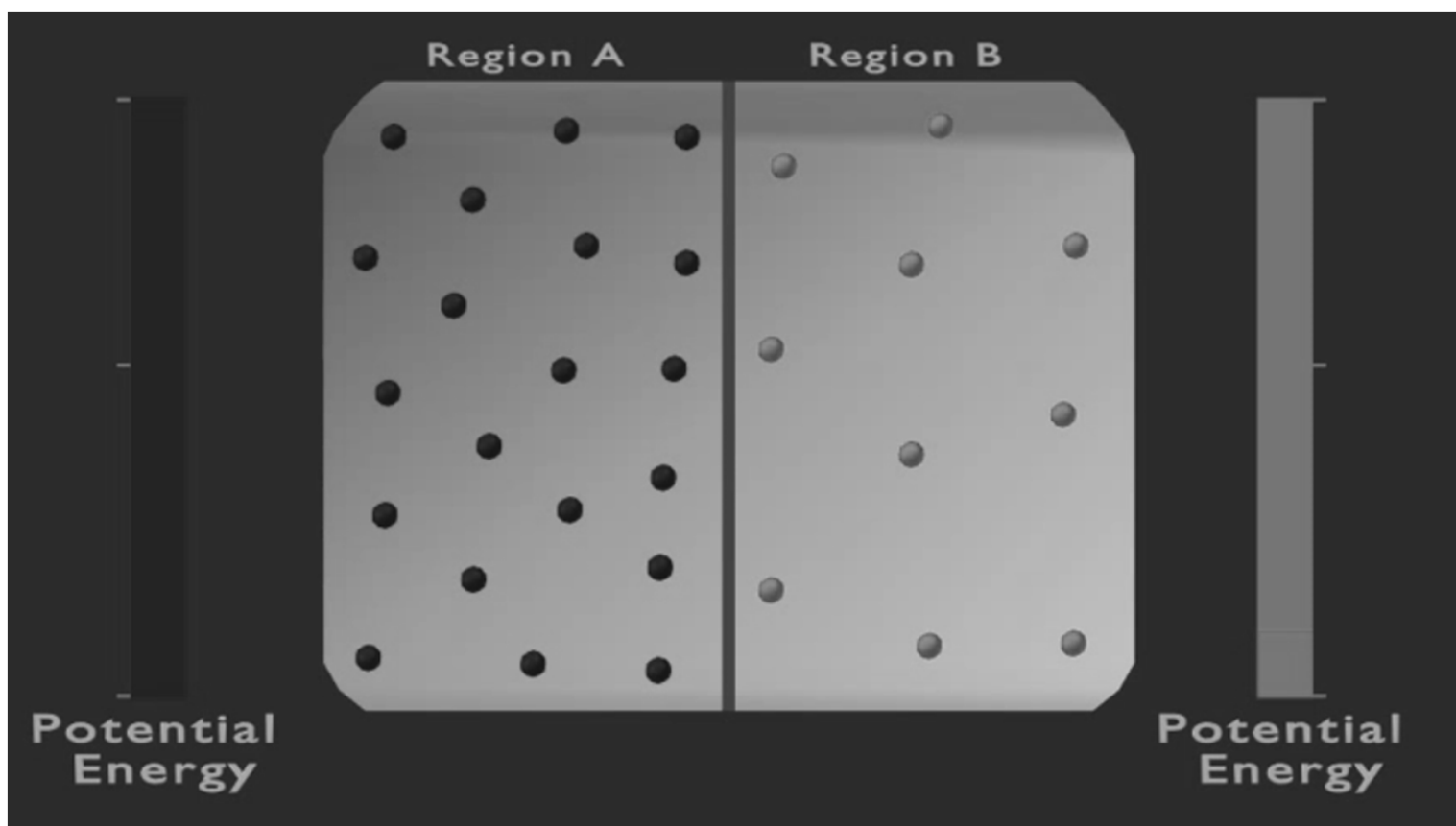


Дифузија

- Молекули било које материје, без обзира на агрегатно стање, налазе се у сталном кретању и могу да продру између молекула других материја – молекуларна дифузија
- Молекули се крећу са места веће концентрације на место мање концентрације



Дифузија





Дифузија

- Дифузија се описује законитошћу емпиријског карактера, која је позната као Фиков закон

$$G_{M_i} = -D_{ij} \frac{\partial c_i}{\partial x} \text{ kmol/m}^2\text{s}$$

$$G_i = -D_{ij} \frac{\partial \rho_i}{\partial x} \text{ kg/m}^2\text{s}$$

- D_{ij} - коефицијент дифузије материје i у мешавини са материјом j , негативан предзнак означава да је дифузија усмерена супротно позитивном градијенту концентрације материје



Дифузија за двокомпоненте системе

За двокомпоненте системе важи:

$$D_{ij} = D_{ji}$$

Како је укупни притисак у систему константан:

$$p = p_i + p_j = \text{const}$$

односно:

$$c = c_i + c_j = \text{const}$$

При промени концентрације једне материје јавља се супротна промена концентрације друге материје, тј. проток материје:

$$G_{M_i} = -G_{M_j}$$



Дифузија – утицај p и t

- Коефицијент дифузије зависи од притиска и температуре

$$D = \frac{1,013 \cdot 10^5}{p} \left(\frac{T}{273} \right)^a D_0$$

где је a у опсегу од 1,8 до 2,3, зависно од врсте гаса



Дифузија за вишекомпоненте системе

- За вишекомпонентне системе могуће је израчунати коефицијенте дифузије ако су познати коефицијенти дифузије појединих парова

$$D_{i,smesa} = \frac{1 - r_i}{\frac{r_j}{D_{ij}} + \frac{r_k}{D_{ik}} + \frac{r_l}{D_{il}} + \dots}$$



✓...

Закони у процесу сагоревања

$$G_{M_i} = -D_{ij} \frac{dc_i}{dx}$$

Фиков закон

Флукс **масе** је директно сразмеран градијенту **концентрације**.

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} = -a \frac{d\rho \cdot c_p \cdot T}{dx}$$

Фуријеов закон

Флукс **топлоте** је директно сразмеран градијенту **температуре**

$$\tau = -\eta \frac{d(\rho \cdot u)}{dx}$$

Њутнов закон

Напон **смицања** је директно сразмеран градијенту **импулса**.



Аналогије

- Претходне појаве описују законитости истог облика, па су аналогне.
- За гасове аналогија није само формална, јер је механизам преноса исти.
- Коефицијент преноса масе D , коефицијент температурске проводности α и коефицијент кинематске вискозности ν имају исте димензије, односно јединице m^2/s .

$$D = \alpha = \nu$$



Бездимензиони бројеви

$$Pr = \frac{\nu}{a}$$

Прантлов број – зависи само од флуида и његовог стања (физичка карактеристика флуида)

$$Sc = \frac{\nu}{D}$$

Шмитов број – карактерише струјање флуида у којем постоји истовремени пренос кретања и масе

$$Le = \frac{a}{D} = \frac{Sc}{Pr}$$

Луисов број – карактерише струјање флуида у којем постоји истовремени пренос топлоте и масе

Код реалних гасних смеша Pr , Sc и Le су нешто мањи од један, док је у идеалним системима : $Pr=Sc=Le=1$



Дифузионо и кинетичко сагоревање



- Хемијске реакције и процес сагоревања одвијају се само у одређеним условима
 - молекули реактаната треба **да дођу у непосредни контакт**
 - молекули реактаната треба **да поседују довољну енергију судара** да би започели процес реакције
 - међусобни судар молекула **треба да се деси само у оквиру неких њихових осетљивих тачака**



Дифузионо и кинетичко сагоревање



- **Дифузионо сагоревање** - ако је брзина хемијске реакције већа од брзине којом се молекули доводе у контакт (процес дифузије).
- **Кинетичко сагоревање** – ако је брзина хемијске реакције мала у односу на дифузију, тада је критична фаза управо хемијска реакција, тј. кинетика процеса.



Дифузионо и кинетичко сагоревање

- Дамкелеров број – однос карактеристичних времена процеса дифузије и кинетике хемијских реакција

$$Da = \frac{t_{\text{dif}}}{t_{\text{kin}}}$$

- $Da \ll 1$ – кинетичко сагоревање
- $Da \gg 1$ – дифузионо сагоревање



Процеси паљења



Паљење

- Паљење се односи на појаву код које реакција од веома споре и неприментне прелази у веома брзу, што је праћено тренутном трансформацијом хемијске енергије у топлотну.



Процеси паљења

- За паљење гориве смеше потребно је да се остваре услови, под којима ће се **горива смеша упалити спонтано или под дејством страног извора енергије.**
- Паљење може бити
 - Спонтано паљење или самопаљење
 - Принудно паљење.



Начини паљења

- Спонтано паљење или самопаљење – смеша горива и ваздуха се пали спонтано сама од себе, без посредства неког другог извора енергије.
- Принудно паљење – паљење под дејством неког високотемпературског извора (варница, усијано тело, пламен).



Теорије паљења – Топлотна теорија паљења



- При загревању страним извором увек постоји температура на којој је количина топлоте која се доводи једнака или већа од топлотних губитака.
- Температура гориве смеше наставља да расте, све док се не оствари велика брзина издвајања топлоте. У тим условима може доћи до паљења.



Теорије паљења – Ланчана теорија паљења



- Ако се реакција сагоревања одвија као ланчана до паљења може доћи и у изотермским условима и то када је брзина настајања активних честица већа од њиховог трошења.
- Реакција се убзава (разграната ланчана реакција) прогресивно и води ка паљењу.
- За започињање ланчане реакције потребан је спољни извор топлоте.



Паљење

- Паљење се дефинише следећим карактеристикама
 - Концентрационим границама паљења – концентрационе границе горива у смеши са ваздухом у којима може доћи до паљења
 - Температуром паљења – температура на којој долази до паљења
 - Периодом закашњења паљења – временски период до појаве паљења.

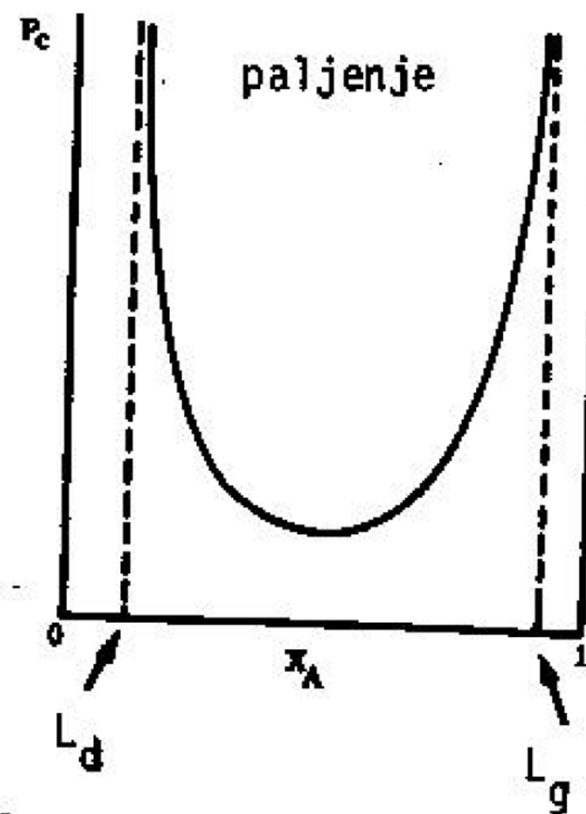
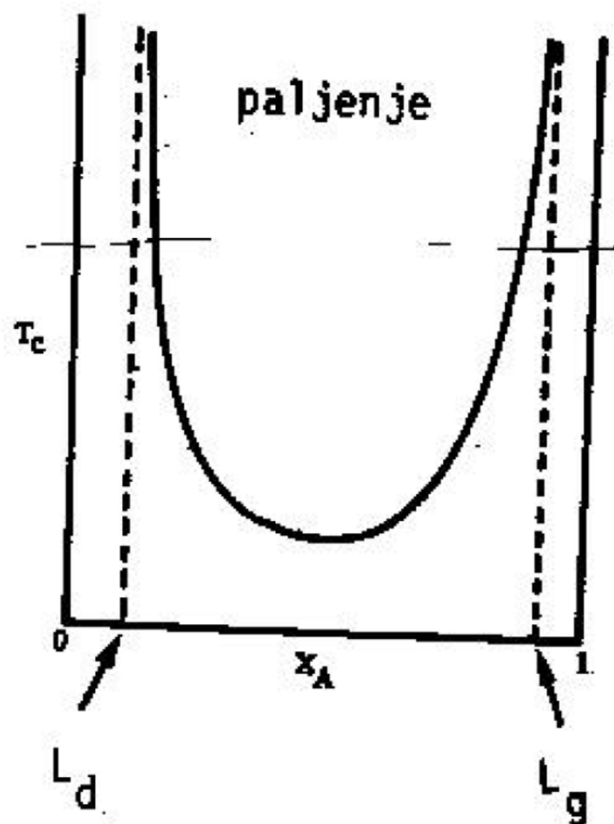


Самопаљење

- Постоје границе у којима може доћи до појаве самопаљења.
- Уколико је смеша сувише сиромашна или богата не може доћи до самопаљења без обзира на притисак и температуру.
- Уколико је температура или притисак јако ниска до појаве самопаљења не може доћи.



Концентрационе границе паљења





Концентрационе границе паљења



- Концентрациона граница испод које није могуће паљење гориве смеше назива се доња концентрациона граница.
- Концентрациона граница изнад које није могуће паљење гориве смеше назива се горња концентрациона граница.



Границе паљења

- Границе паљења могу се одредити на основу познатог састава горива и познатих граница паљења за сваку од горивих компоненти у гориву

$$GU_{sm} = \frac{100}{\frac{V_1}{GU_1} + \frac{V_2}{GU_2} + \dots + \frac{V_n}{GU_n}}$$

GU_{sm} – горња/доња концентрациона граница паљења у запреминским процентима у горивој смеси

V_i – запремина појединих горивих компоненти у горивој смеси

GU_i – горња/доња концентрациона граница паљења одговарајуће гориве компоненте за случај када сама образује смешу са ваздухом



Границе паљења

- Експериментална провера је показала добро слагање обрасца за случај одређивања доње границе паљења.
- За одређивање горње концентрационе границе паљења потребно је концентрације горивих компонената прерачунати на чисту гориву масу и тек онда заменити у горњи образац.



Границе паљења

- Границе паљења зависе од:
 - Врсте горива
 - Врсте гориве смеше
 - Температуре
 - Притиска
 - Брзине струјања гориве смеше



Растојање гашења

- У непосредној брзини великих чврстих маса (зид суда) реакције сагоревања не могу да се одвијају – прекид реакције
- **Растојање од зида на коме не може да дође до паљења, а ни до сагоревања – растојање гашења.**
- За стехиометријску смешу, на атмосферском притиску и околној температури:
 - Водоник 0,7 mm
 - Метан 2,0 mm
 - Пропан 1,8 mm



Принудно паљење

- Извори паљења при принудном паљењу могу се поделити у следеће групе:
 - Пламен – паљење пламеном
 - Варница – паљење електричном искром
 - Загрејана чврста супстанца – паљење јако загрејаним телом



Паљење пламеном

- Паљење пламеном зависи од:
 - Карактеристика гориве смеше
 - Времена контакта између пламена и гориве смеше
 - Величине и температуре пламена
 - Карактера мешања.



Простирање пламена



Фронт пламена

- Фронт пламена (зона сагоревања, талас сагоревања) је **фронт који се шири кроз припремљену мешавину концентрично око центра упаљења, палећи нове слојеве смеше.**
- Не постоји разлика између фронта пламена код једнокомпонентних и вишекомпонентних смеша



Фронт пламена

- Топлотни извор ствара атоме и радикале који представљају носиоце ланца у хемијској реакцији тј. утичу на одвијање хемијске реакције у најближем слоју мешавине, тако да слој постаје извор топлоте и носилаца реакције способан да изазове реакцију у суседном слоју.



Фронт пламена

- Фронт пламена се шири преко феномена преноса топлоте и дифузије.
- Брзина фронта пламена је врло мала у односу на брзину звука.
- **Закони**
 - Закон о одржању масе
 - Закон промене кретања
 - Закон о одржању енергије
- **Једначине**
 - Једначина дифузије
 - Једначина брзине хемијске реакције



Фронт пламена

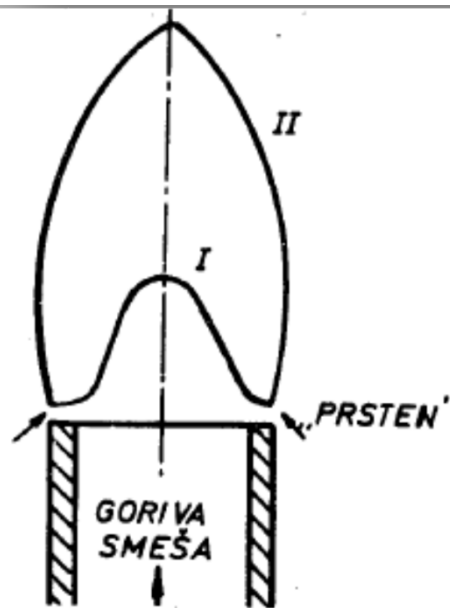
- Фронт пламена заузима узак слој и може се поделити на бесконачни број подслојева
- Сваки подслој има своју
 - Температуру
 - Концентрацију носилаца реакције
 - Количину ослобођене топлоте
 - Брзину хемијске реакције



Брзина фронта пламена

- Фронт пламена је танак слој у коме се врше хемијске реакције и представља танак слој између неупаљене и сагореле смеше.
- Нормална брзина сагоревања је линеарна брзина којом се креће фронт пламена нормално на своју површину кроз већ припремљену гориву смешу.
- Брзина фронта пламена је реда величине неколико метара у секунди.
- Зависи од врсте горива и притиска.

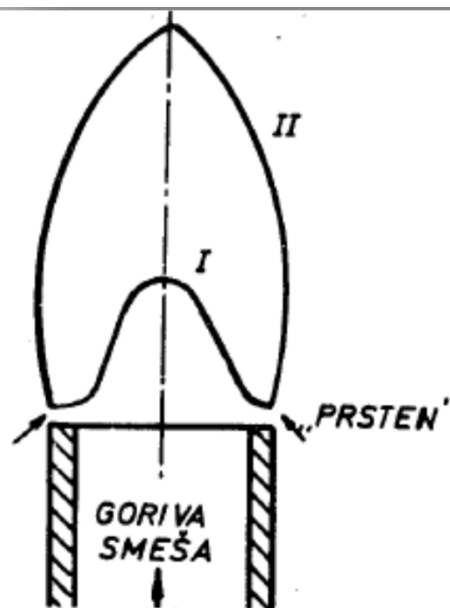
Брзина фронта пламена



Бунзенов горионик

- Горива смеша истиче из горионика
- Ламинарно струјање
- Параболична расподела брзина – највећа брзина у оси, на зидовима једнака нули, у близини зидова брзина струје гориве смеше једнака је брзини простирања пламена

Брзина фронта пламена



Бунзенов горионик

- Контура I – област у којој се одвија највећи део хемијских реакција, димензије и облик зависе од протока гориве смеше кроз горионик
- Контура II – довршава се процес догоревања уз учешће кисеоника из околног ваздуха



Брзина простирања пламена

- Максимална брзина простирања пламена за мешавину више компоненти

$$u_{n_{\max}} = \frac{c_1 u_{n1} + c_2 u_{n2} + \dots}{c_1 + c_2 + \dots}$$

u_{n1}, u_{n2} – нормалне брзине простирања пламена за сваку гориву компоненту

$$u'_{n_{\max}} = K \cdot u_{n_{\max}}$$

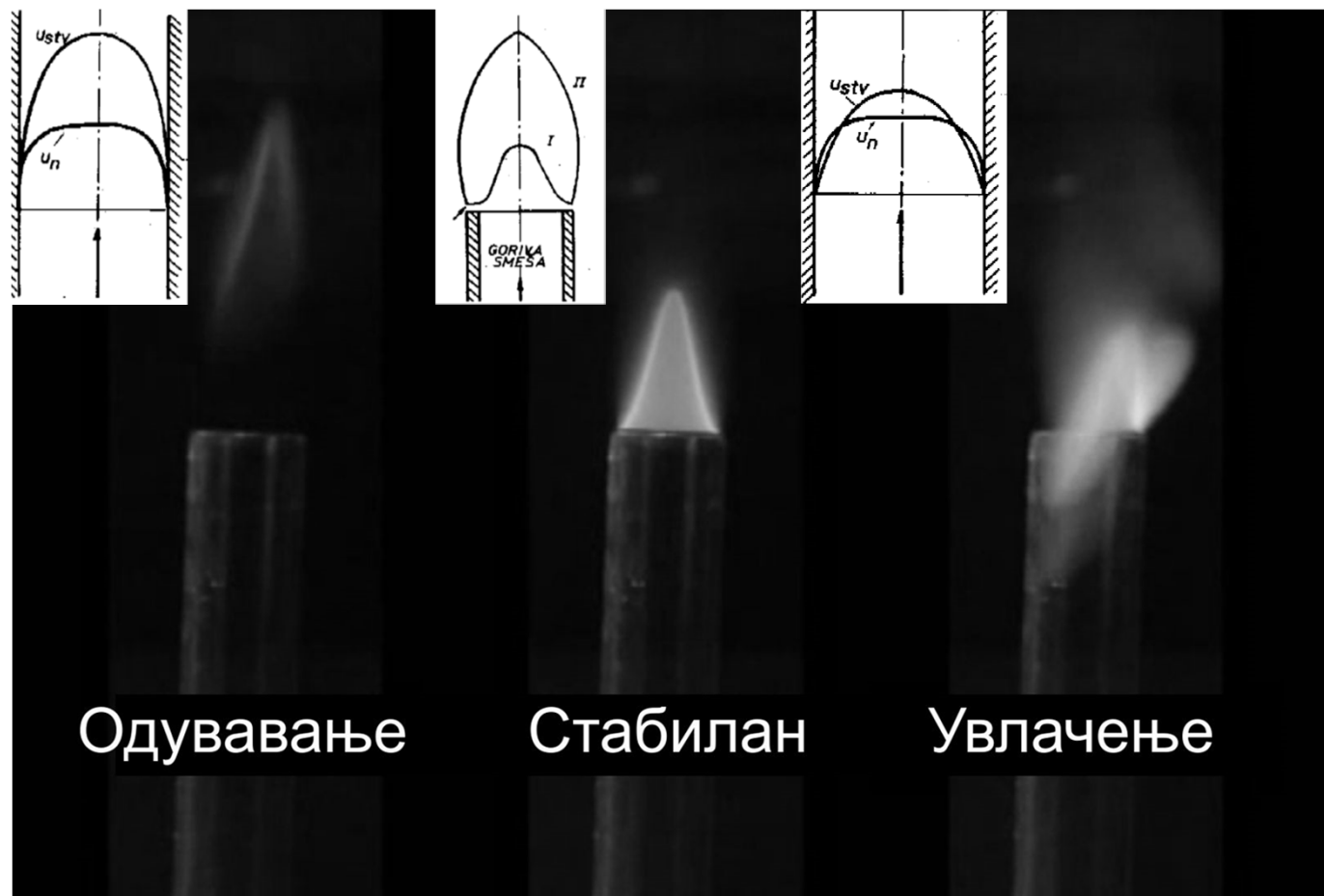
c_1, c_2 – садржај горивих компоненти

$u_{n_{\max}}$ – брзина без инертних примеса

$$K = \frac{100 - N_2 - 1,1CO_2}{100}$$



Фронт пламена





Стабилизација фронта пламена

