



Сагоревање М



Простирање пламена



Фронт пламена (дефиниција)

- Фронт пламена (зона сагоревања, талас сагоревања) је **фронт који се шири кроз припремљену мешавину концентрично око центра паљења**, палећи нове слојеве смеше брзином знатно мањом од брзине звука у ваздуху.
- Не постоји разлика између фронта пламена код једнокомпонентних и вишекомпонентних смеша.



Фронт пламена (објашњење)

- 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 се још зове талас дефлаграције.**
- *de + flagrare* на латинском значи сагорети.



Фронт пламена (основни подаци)

- Уобичајена брзина простирања таласа дефлаграције је од 1-100 m/s.
- **Дуж правца дефлаграције притисак се смањује** ($p_{\infty} < p_0$) док запремина расте ($1/\rho_{\infty} > 1/\rho_0$).
- **За дефлаграцију, структура таласа и процеса турбуленције и дифузије одређује брзину простирања.**



Талас детонације

- Талас детонације је фронт који се шири кроз припремљену мешавину концентрично око центра паљења, палећи нове слојеве смеше брзином већом од брзине звука у ваздуху.



Талас детонације (објашњење)

- Суперсонични егзотермни фронт убрзава своје кретање кроз гориву смешу и изазива ударни талас који се креће непосредно испред њега.
- ***Detonare*** на латинском значи удар грома надоле/нагоре.



✓...

Талас детонације (основни подаци)

- Уобичајена брзина простирања таласа детонације је реда величине 2000 m/s.
- **Дуж правца детонације притисак расте ($p_{\infty} > p_0$) док запремина опада ($1/\rho_{\infty} < 1/\rho_0$).**
- За детонацију у стехиометријским смешама водоника и угљоводоника и ваздуха је: $p_{\infty}/p_0 = 15 - 20$.
- **За детонације су довољна разматрања динамике гасова за одређивање решења.**



Талас дефлаграције vs. детонације

Дефлаграција	Детонација
Уобичајена брзина простирања таласа дефлаграције је од 1-100 m/s	Уобичајена брзина простирања таласа детонације је реда величине 2000 m/s
Дуж правца дефлаграције притисак се смањује ($p_{\infty} < p_0$) док запремина расте ($1/\rho_{\infty} > 1/\rho_0$)	Дуж правца детонације притисак расте ($p_{\infty} > p_0$) док запремина опада ($1/\rho_{\infty} < 1/\rho_0$)
За дефлаграцију, структура таласа и процеса турбуленције и дифузије одређује брзину простирања	За детонације су довољна разматрања динамике гасова за одређивање решења



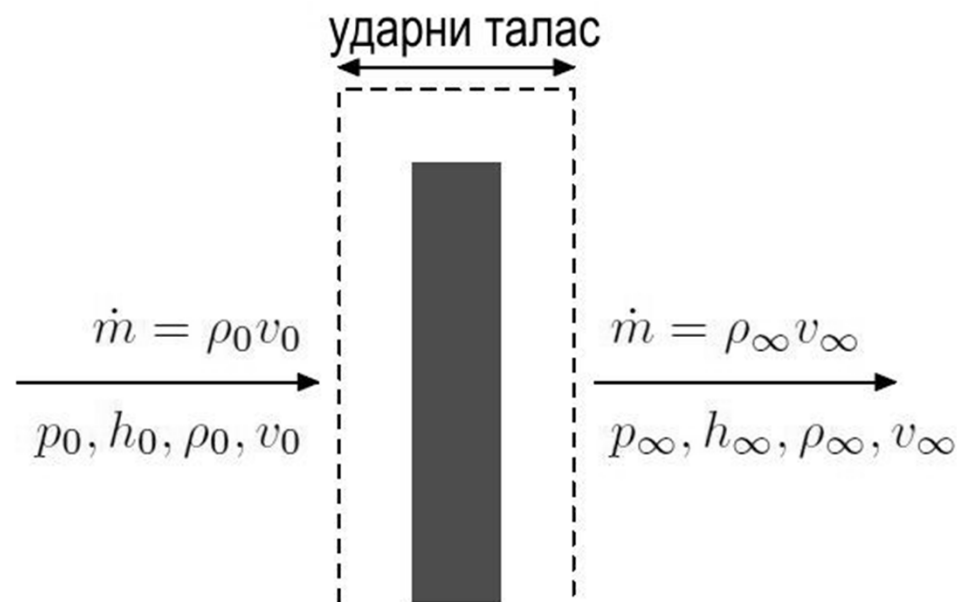
Талас детонације (теорије)

- **Charman** (1899) и **Jouguet** (Жуге, 1905) су дефинисали да детонација путује једном одређеном брзином која је најмања брзина за сва решења гране детонације (тзв. Charman-Jouguet брзина односно CJ брзина).
- **Zeldovich** (1940), **von Neumann** (1943) и **Döring** (1943) су независно дефинисали да је детонација талас сагоревања који се одржава ударним таласом. Ова теорија је позната под именом **ZND** (прва слова презимена ова три научника)



Промена својстава дуж таласа детонације

- Hugoniot-ове (Игониове) једначине успостављају везу између 8 величина – 4 величине с леве стране (ниског притиска: p_0 ; h_0 ; ρ_0 ; v_0) и 4 величине с десне стране (високог притиска: p_∞ ; h_∞ ; ρ_∞ ; v_∞).



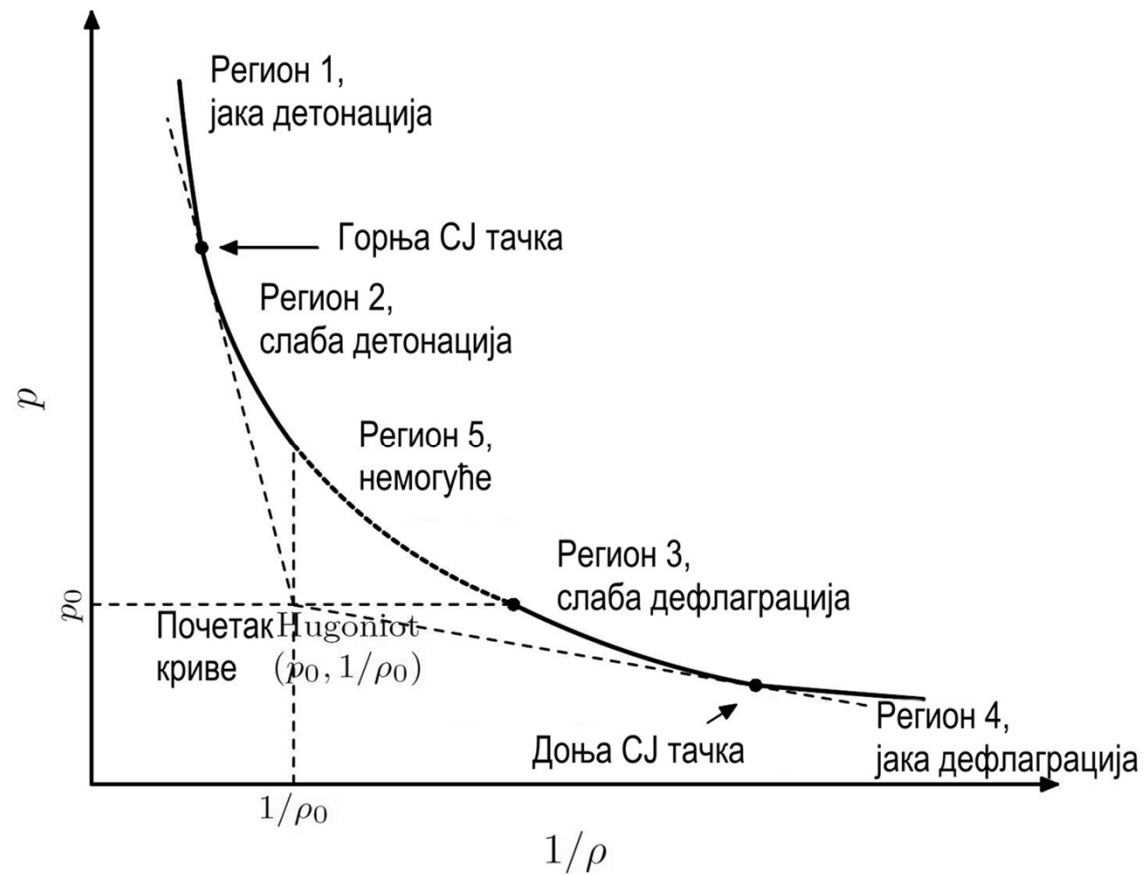


Талас детонације (објашњење промене својстава)

- Постоје везе између променљивих на две стране ударног таласа.
- Оне су познате као Hugoniot-ове једначине.
- Hugoniot-ове једначине успостављају везу између 8 величина – 4 величине с леве стране (ниског притиска: p_0 ; h_0 ; ρ_0 ; v_0) и 4 величине с десне стране (високог притиска: p_∞ ; h_∞ ; ρ_∞ ; v_∞).
- Ове променљиве су **решење једначина одржања за масу, импулс (количину кретања) и енергију за невискозни флуид за таласе при стационарном струјању константног попречног пресека.**

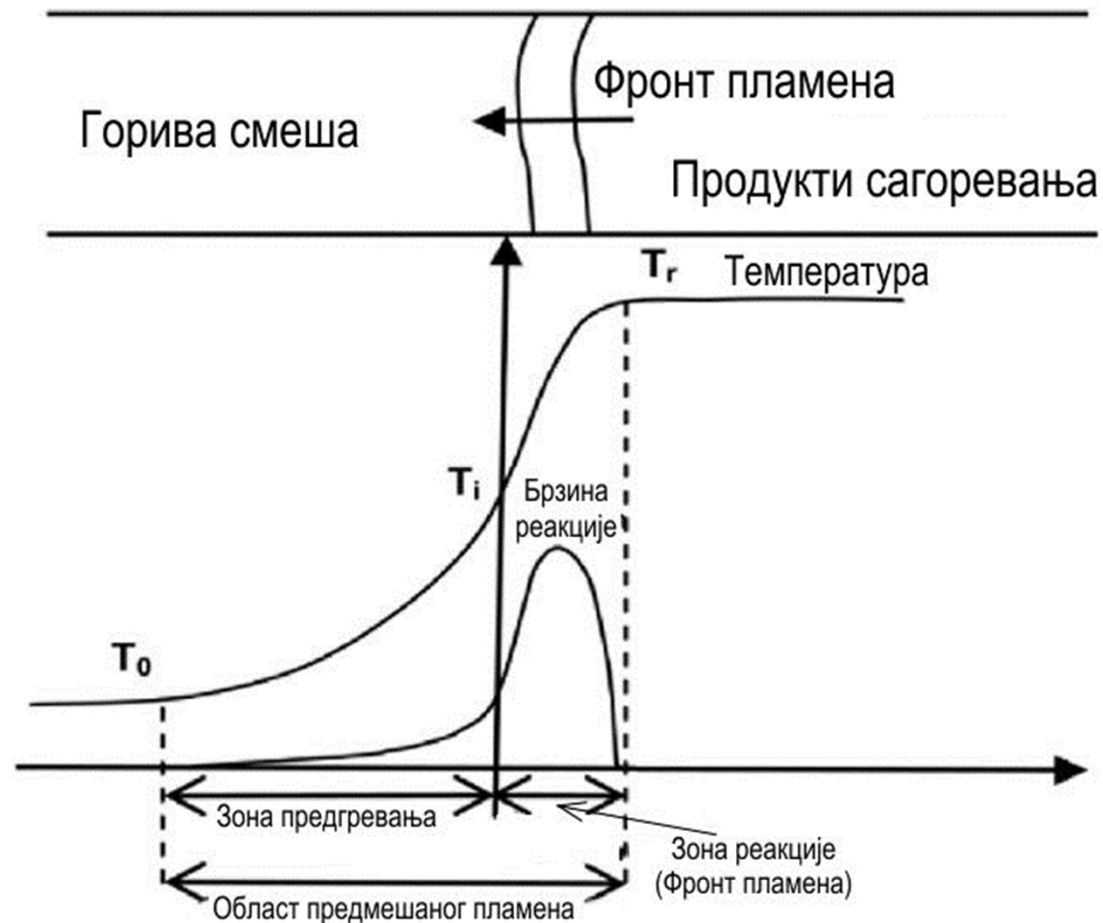


Hugoniot-ov дијаграм



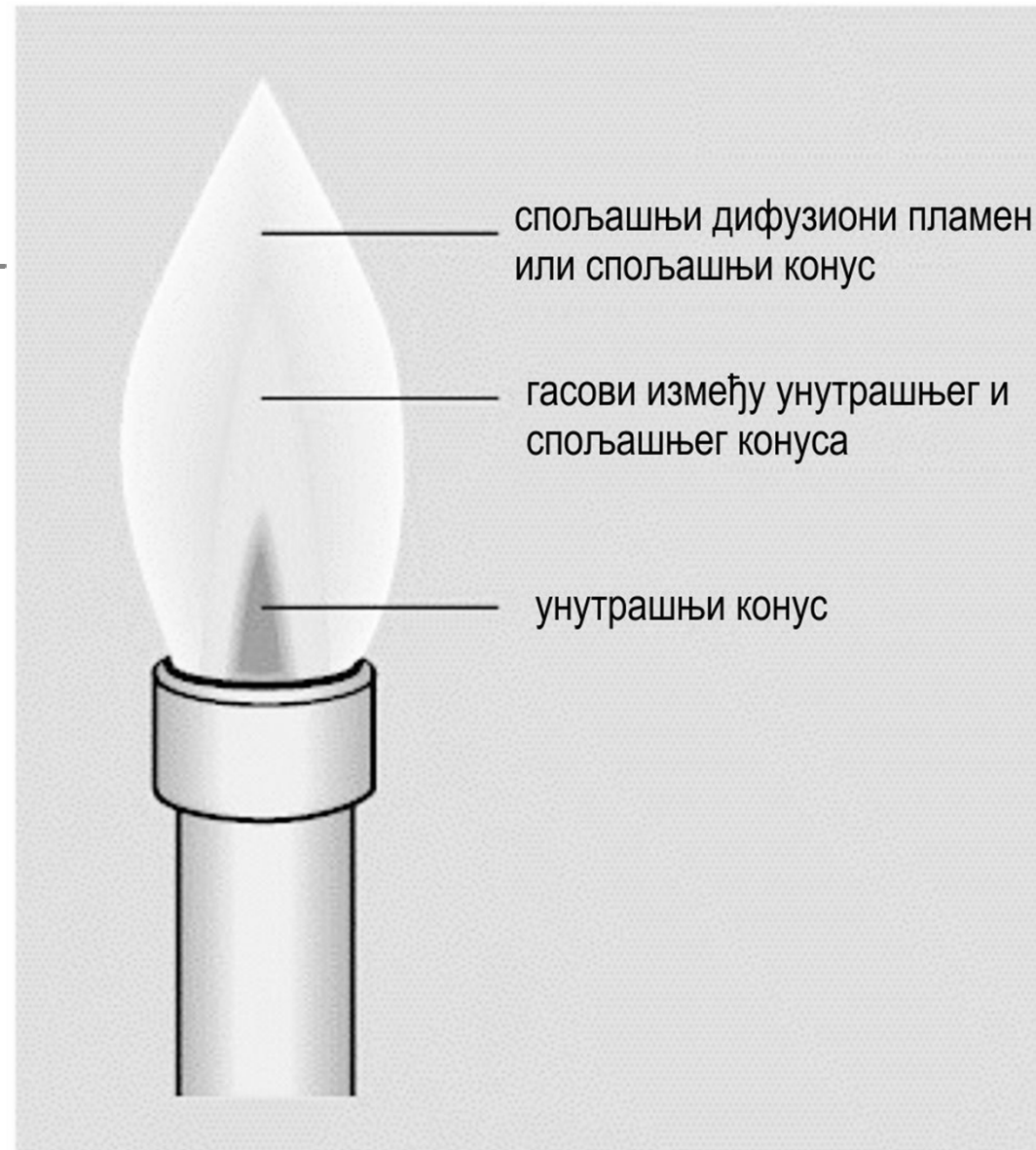


Структура фронта пламена (предмешаног – кинетичког)



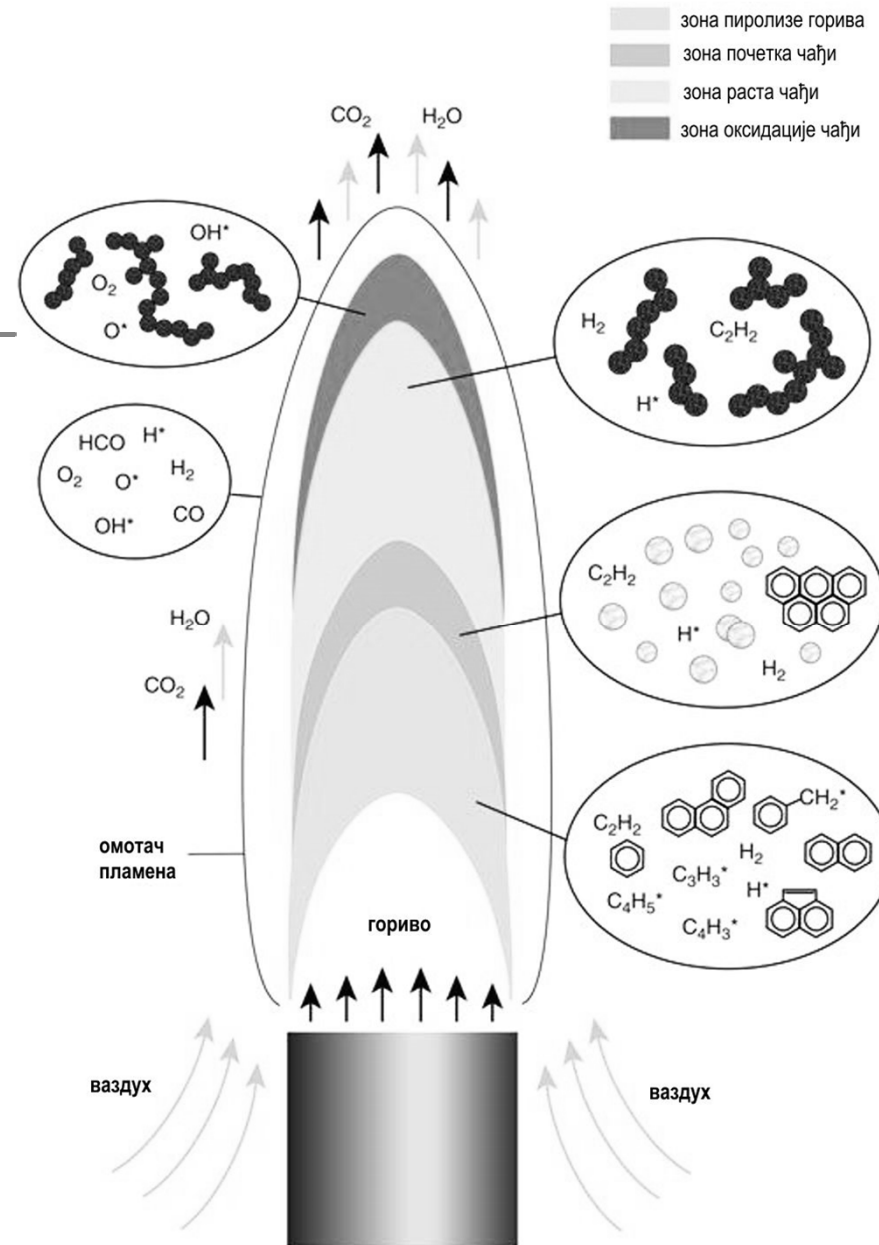


Структура пламена (предме- шаног – кинетичког)



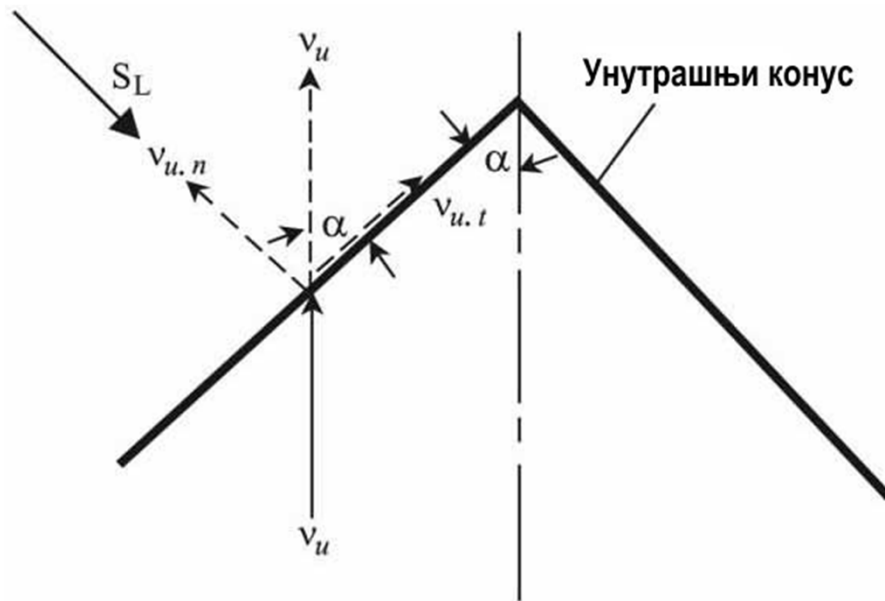


Хемијске реакције у пламену (непредме- шаном – дифузионом)





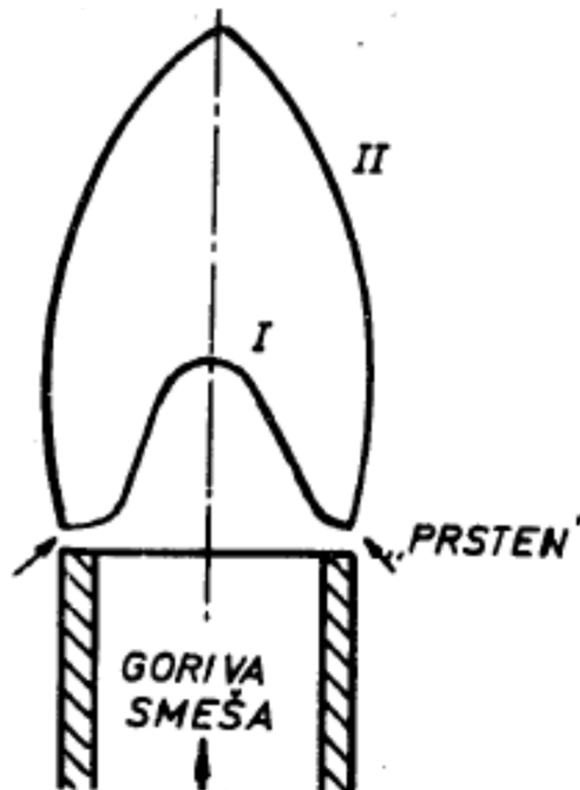
Ламинарна брзина сагоревања



- v_u – брзина струјања гориве смеше
- S_L – ламинарна брзина сагоревања
- α – угао унутрашњег конуса пламена



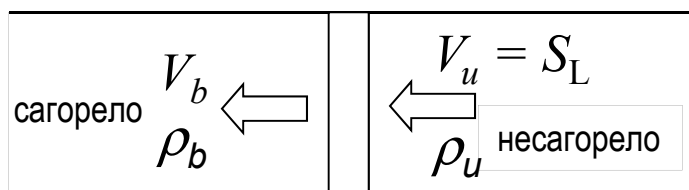
Ламинарна брзина сагоревања



- Параболична расподела брзина – највећа брзина у оси, на зидовима једнака нули, у близини зидова брзина струје гориве смеше једнака је брзини простирања пламена
- 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

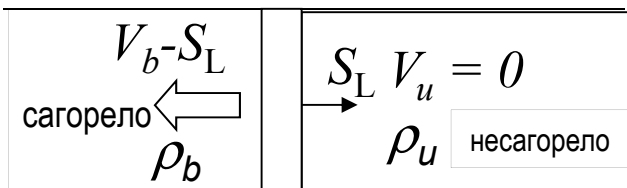


Нормална брзина сагоревања



Стационарни пламен (горионици)

u – unburned (несагорело) b – burned (сагорело)



Покретни пламен (мотори СУС)

■ Нормална брзина простирања ламинарног пламена зависи од:

1. састава смеше (коефицијент вишка ваздуха)
2. својстава смеше (топлотне проводности),
3. притиска и
4. температуре.



Нормална брзина сагоревања (брзина простирања пламена) за смешу гасова

- u_{n1}, u_{n2} – нормалне брзине простирања пламена за сваку гориву компоненту
- c_1, c_2 – концентрације горивих компоненти
- $u_{n\max}$ – брзина без инертних примеса

$$\left. \begin{aligned} u_{n\max} &= \frac{c_1 \cdot u_{n1} + c_2 \cdot u_{n2} + \dots}{c_1 + c_2 + \dots} \\ K &= \frac{100 - N_2 - 1,2 \cdot CO_2}{100} \end{aligned} \right\} \Rightarrow u'_{n\max} = K \cdot u_{n\max}$$



Брзина пламена

- Кинематичка величина коју опажа спољни (непокретни) посматрач!
- Брзина фронта пламена у односу на непокретну тачку у простору (лабораторијски координатни систем).



Брзина сагоревања и брзина пламена ✓...

Карактеристика	Брзина сагоревања (S_L)	Брзина пламена (v_f)
Референтни систем	У односу на локални несагорели гас	У односу на непокретног посматрача
Природа величине	Хемијско-термодинамичка	Физичко-кинематичка
Експанзија гаса	Не утиче на вредност	Директно повећава вредност
Пример	Константа за гориву смешу	Брзина којом се пламен креће кроз мирну или покретну гориву смешу



Дебљина пламена и растојање гашења

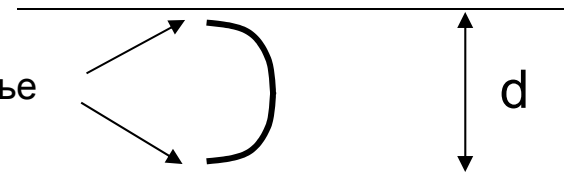
- Груба процена дебљине ламинарног пламена се може добити на основу ј-не:

$$\delta = \frac{2a}{S_L} = \frac{2}{S_L} \left(\frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \right) \approx 1 \text{ mm}$$

где је a топлотна проводност пламена, а S_L ламинарна брзина сагоревања

- Како се пламен протиче кроз канал (цев) топлота се губи (одаје) од пламена на зид:

Локално гашење





Дебљина пламена и растојање гашења



- Експериментално је утврђено да ако је пречник канала мањи од неке критичне вредности пламен ће се угасити!
- Ова критична вредност се зове **РАСТОЈАЊЕ ГАШЕЊА** (d_{\min}) и блиска је по реду величине дебљини пламена:

$$d_{\min} \propto \delta$$



Стабилно сагоревање (дефиниције)

- Сагоревање које се у условима стационарног рада горионика стабилизује у одређеном простору и не мења свој средњи положај (**Хитрин**).
- Сагоревање је стабилно ако у било којој тачки фронта пламена постоје једнаке локалне брзине, струјања гориве смеше и сагоревања, а свуда околу је брзина струјања већа од брзине сагоревања (**Lewis, von Elbe**).



Кључне разлике ових дефиниција

Карактеристика	Л. Н. Хитрин	Lewis & von Elbe
Фокус	Унутрашња структура пламена и хемијска кинетика.	Аеродинамика на ивици горионика и гранични слој.
Услов стабилности	Равнотежа ослобођене и одведене топлоте унутар фронта.	Усклађеност градијента брзине гаса и нормалне брзине сагоревања.
Дефиниција S_L	Теоријска константа смеше заснована на топлотној дифузивности (α).	Величина која се користи за одређивање критичног градијента на зиду.
Примена	Прорачун дебљине пламена (δ_L) и брзине сагоревања у слободном простору.	Пројектовање горионика и одређивање граница безбедног рада.

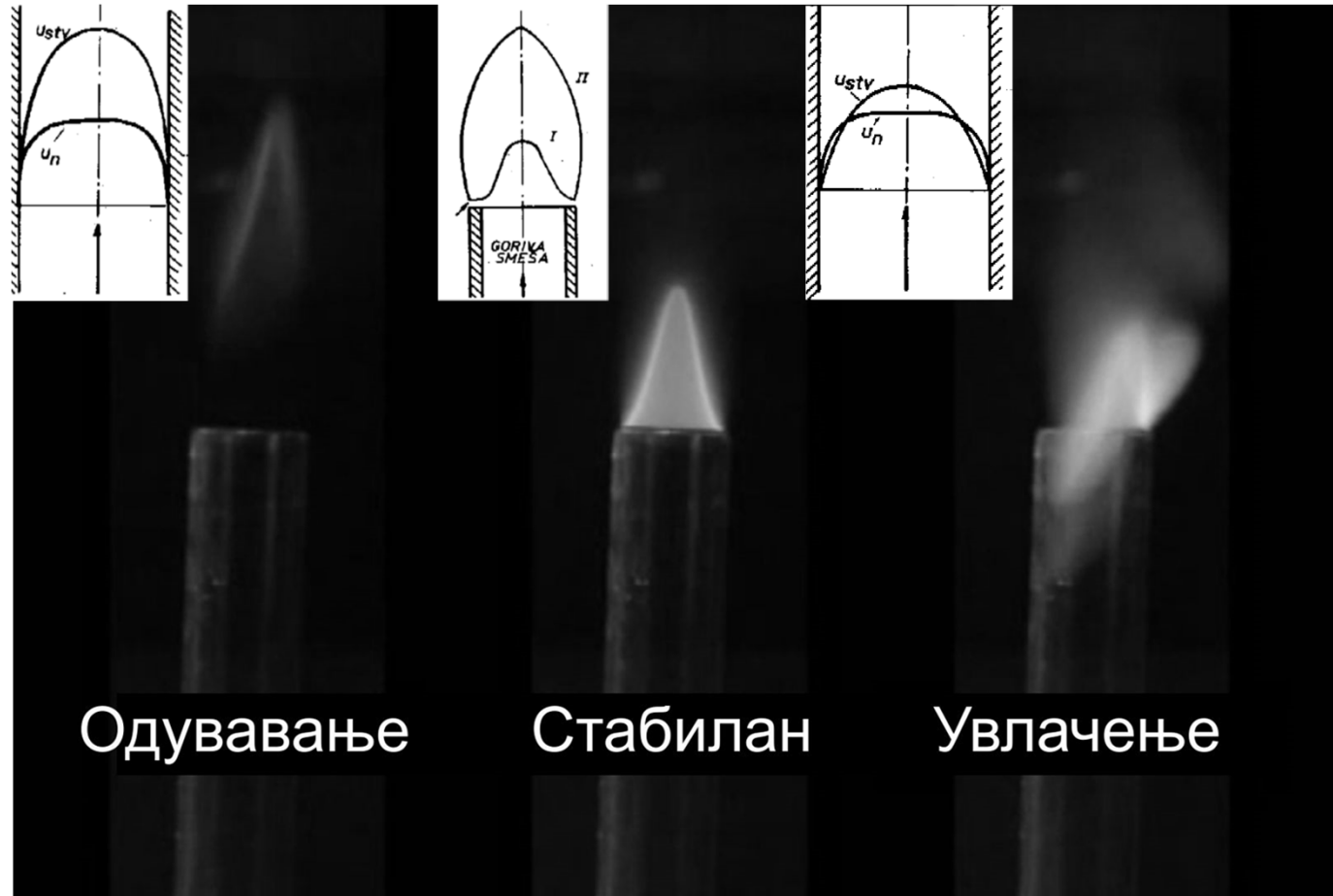


Стабилизација фронта пламена

- Брзина струјања (u) и брзина сагоревања (u_n) утичу на положај фронта пламена у односу на излаз из горионика.
- Разликују се три могућа случаја:
 - $u > u_n$ - одувавање пламена,
 - $u = u_n$ - стабилан пламен,
 - $u < u_n$ - увлачење пламена.



Критичне појаве за стабилност сагоревања



Одувавање

Стабилан

Увлачење



Дијаграм стабилног сагоревања (Fuidge дијаграм)

