



# Процеси паљења

# 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 убрзава (разграната ланчана реакција) прогресивно и води ка паљењу.
- За започињање ланчане реакције потребан је спољни извор топлоте.

# Паљење

---

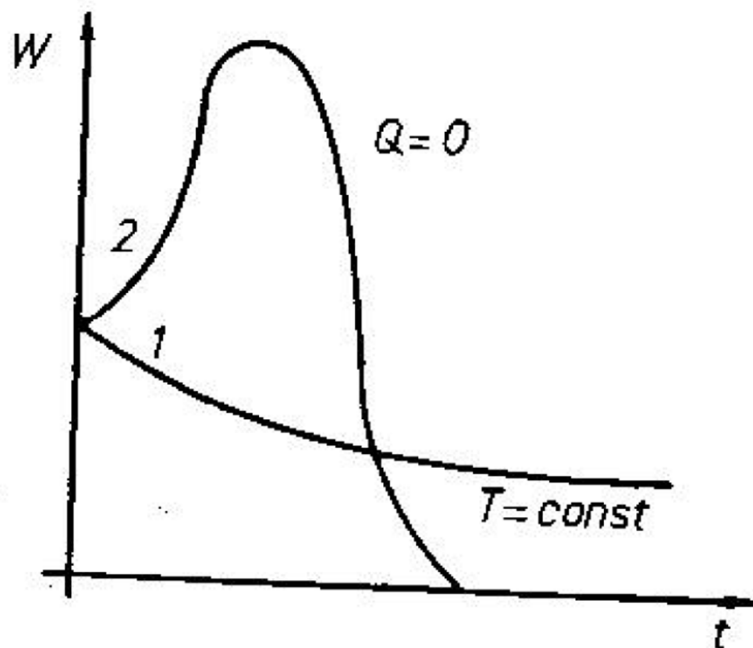
- Паљење се дефинише следећим карактеристикама
  - Концентрационим границама паљења – концентрационе границе горива у смеши са ваздухом у којима може доћи до паљења
  - Температуром паљења – температура на којој долази до паљења
  - Периодом закашњења паљења – временски период до појаве паљења.

# 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.

# Самопаљење



Крива 1 – промена брзине изотермне хемијске реакције, брзина се смањује са временом, тако да не може да дође до паљења. Изотермска реакција не може да доведе до паљења, јер је  $dw/dt < 0$

Крива 2 – промена брзине хемијске реакције у адијабатским условима. Брзина расте услед пораста температуре до неког тренутка када почиње нагло да опада услед смањења садржаја почетних реактаната. Услов за појаву паљења је  $dw/dt > 0$ .

Граница између реакције која води ка паљењу и реакције која не води ка паљењу је када је  $dw/dt = 0$

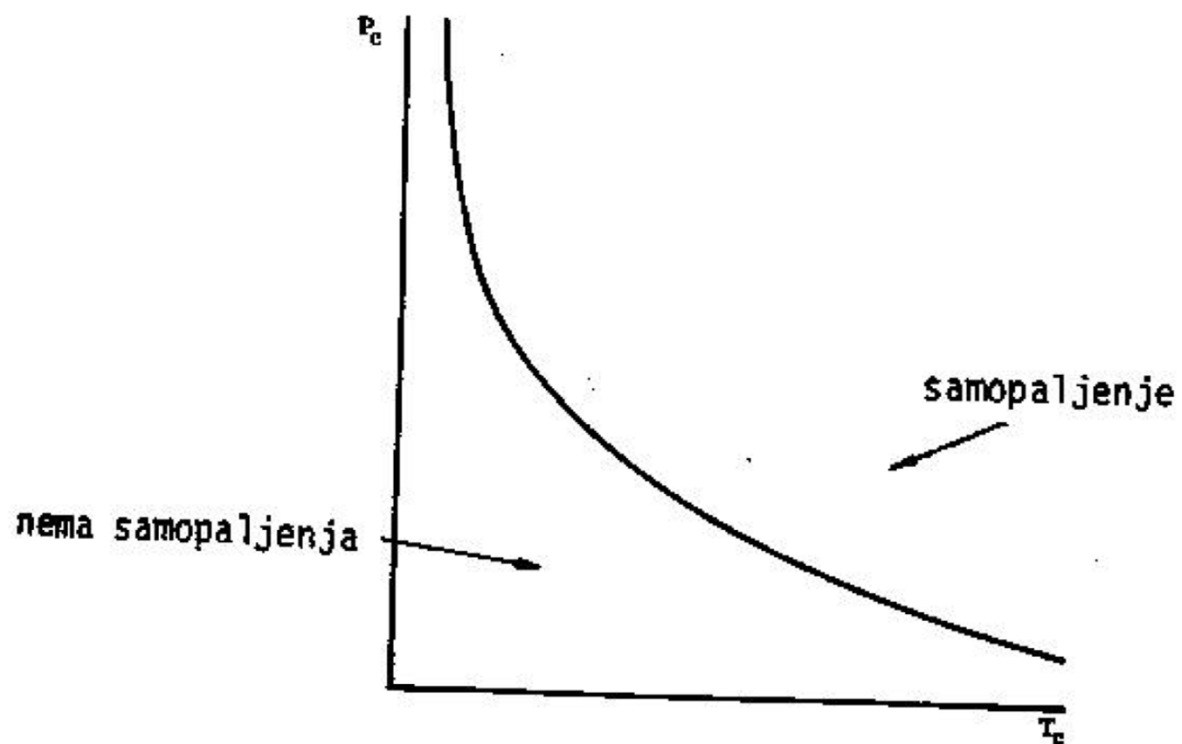


# Самопаљење

---

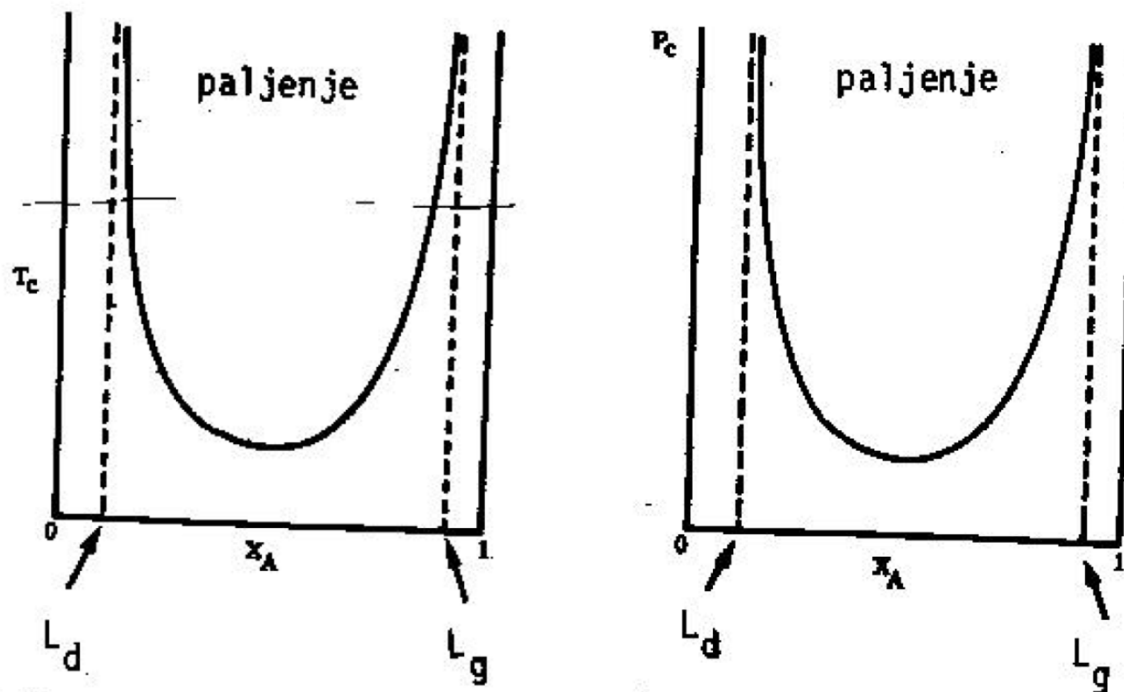
- Постоје границе у којима може доћи до појаве самопаљења
- Уколико је смеша сувише сиромашна или богата не може доћи до самопаљења без обзира на притисак и температуру
- Уколико је температура или притисак јако ниска до појаве самопаљења не може доћи

# Самопаљење



Критични притисак у зависности од критичне температуре (услови за појаву самопаљења)

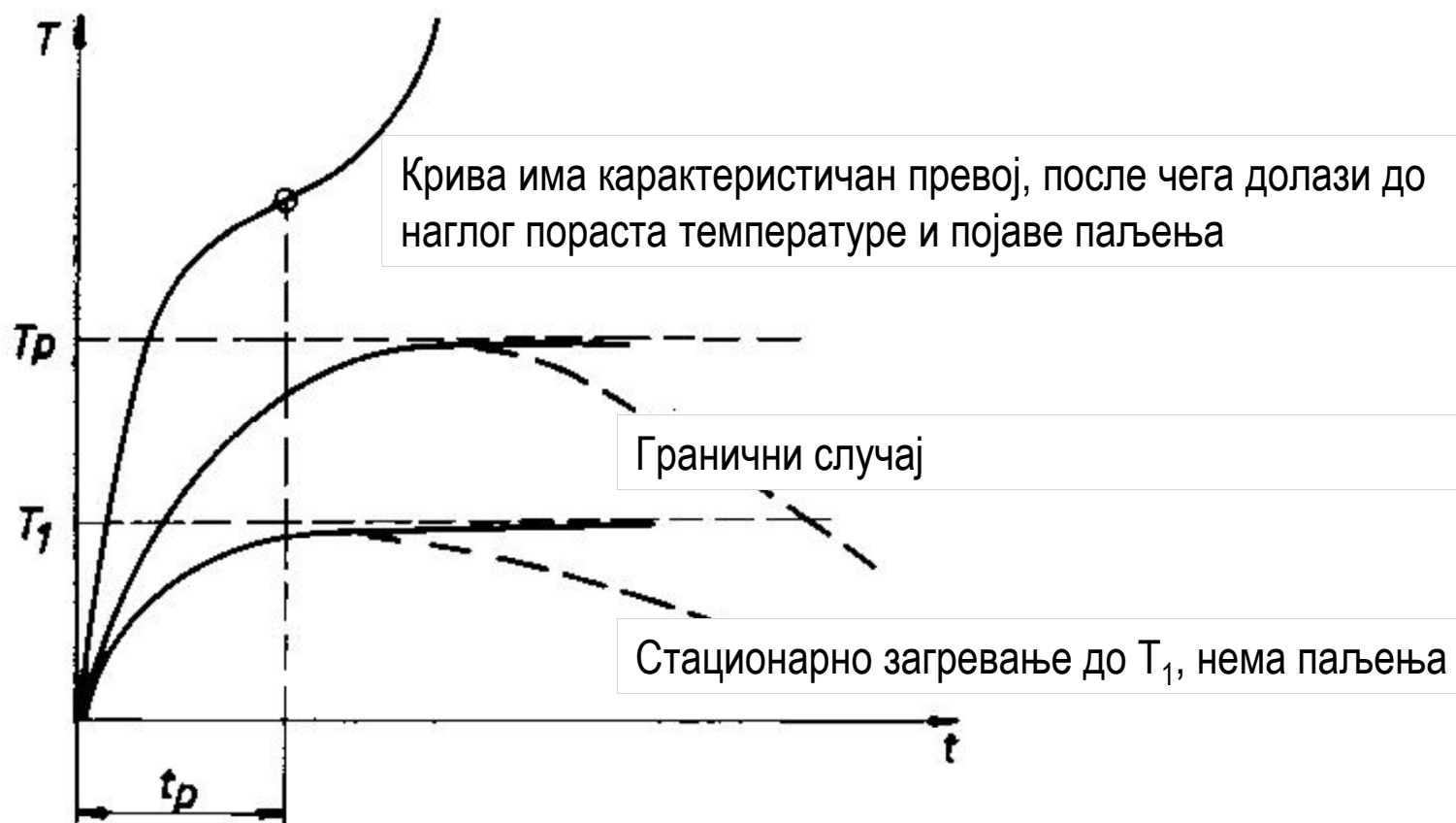
# Самопаљење



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.

# Паљење



Случај неадијабатске реакције (одвођење топлоте преко зидова суда,  $q_2 \neq 0$ )

# 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

---

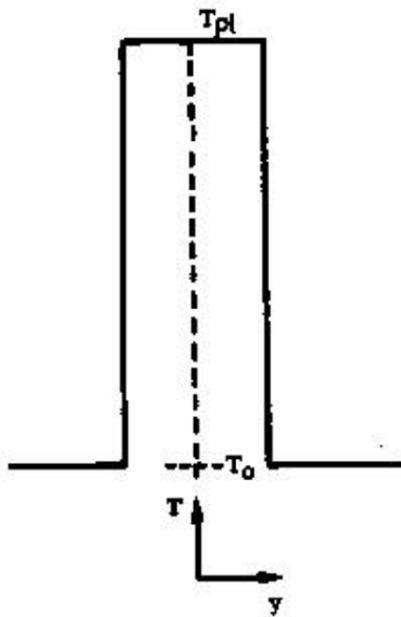
- Извори паљења при принудном паљењу могу се поделити у следеће групе:
  - Пламен – паљење пламеном
  - Варница – паљење електричном искром
  - Загрејана чврста супстанца – паљење јако загрејаним телом

# Паљење пламеном

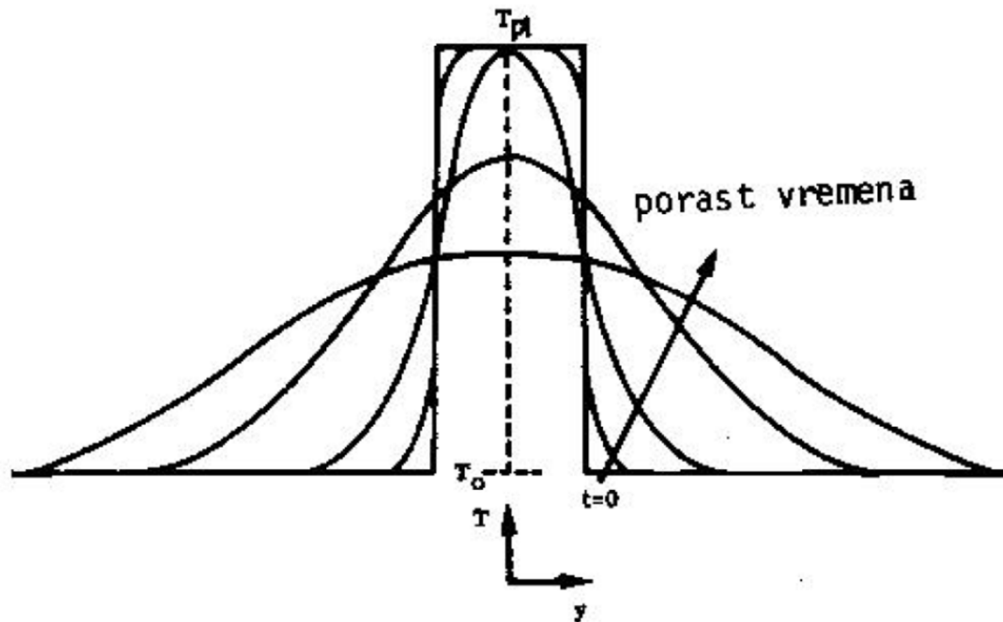
---

- Паљење пламеном зависи од:
  - Карактеристика гориве смеше
  - Времена контакта између пламена и гориве смеше
  - Величине и температуре пламена
  - Карактера мешања.
- Иницијални пламен се посматра као бесконачна равна плоча, дебљине  $2a$  и температуре  $T_{pl}$

# Паљење пламеном



Температурски профил у тренутку уношења раванског пламена



Промена температуре са временом – Уколико је пламен тањи од неке критичне вредности неће доћи до паљења, јер је брзина хлађења већа од брзине настајања топлоте. Ако је пламен дебљи од критичне вредности долази до паљења.





# Границе паљења

# Границе паљења

---

- Границе паљења су граничне концентрације горива у горивој смеши при којима је још могуће њено паљење и успостављање простирања пламена
- Постоје горња и доња концентрациона граница паљења
- Горња је дефинисана максималном концентрацијом горива у горивој смеши
- Доња је дефинисана минималном концентрацијом горива у горивој смеши
- Границе паљења могу се представити при константном притиску и при константној температури

# 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

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

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



# **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

# Детонациони талас

---

- Детонациони талас је изазван енергијом хемијске реакције високо компримоване мешавине

# Фронт пламена

---

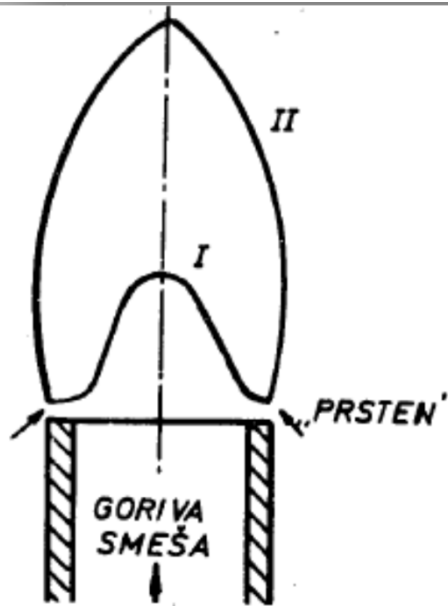
- Фронт пламена заузима узак слој и може се поделити на бесконачни број подслојева
- Сваки подслој има своју
  - Температуру
  - Концентрацију носилаца реакције
  - Количину ослобођене топлоте
  - Брзину хемијске реакције

# Брзина фронта пламена

---

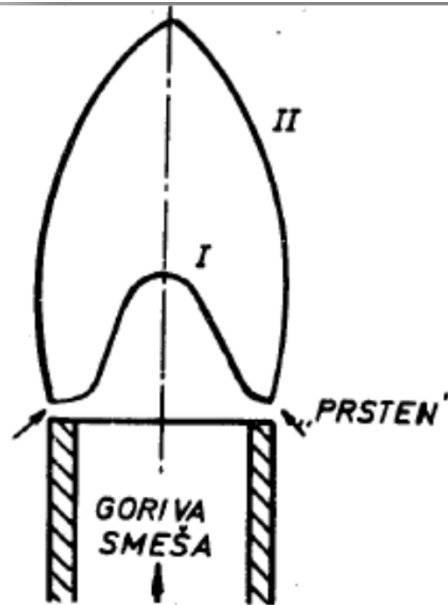
- Фронт пламена је танак слој у коме се врше хемијске реакције и представља танак слој између неупаљене и сагореле смеше
- Нормална брзина сагоревања је линеарна брзина којом се креће фронт пламена нормално на своју површину кроз већ припремљену гориву смешу
- Брзина фронта пламена је реда величине неколико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

# Брзина фронта пламена



- 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



- 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

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