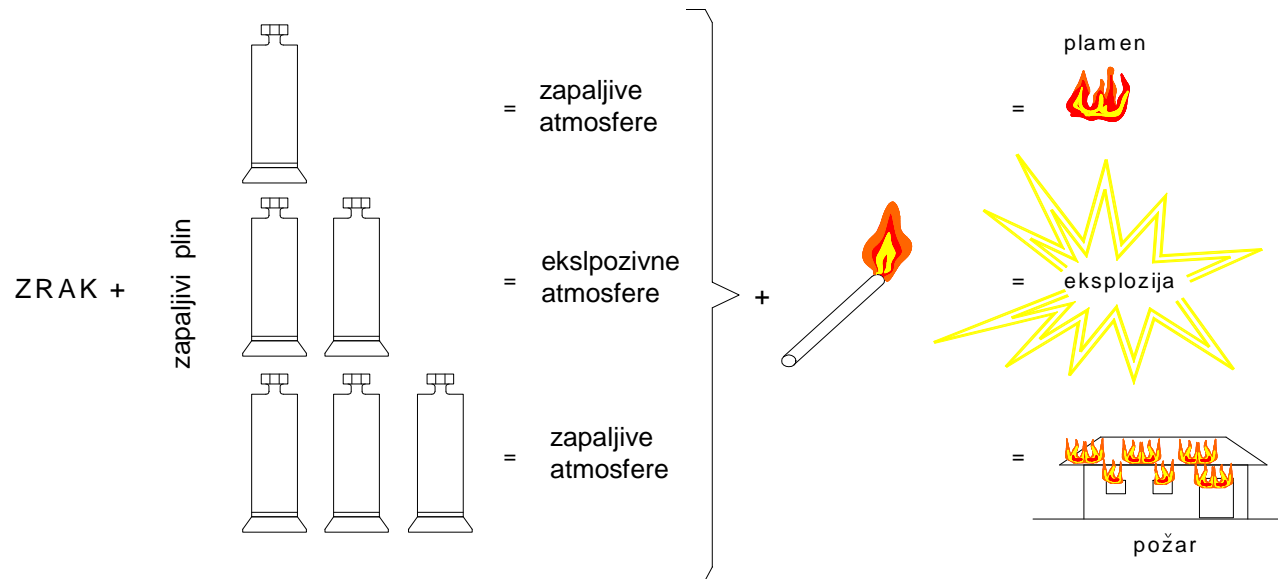


PROTUEKSPLOZIJSKA ZAŠTITA ELEKTRIČNIH UREĐAJA

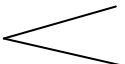
protueksplozijska izvedba omogućuje korištenje električnih uređaja u eksplozivnoj atmosferi

zapaljivi medij + zrak (kisik) u stanovitom omjeru = **ekspozivna atmosfera**



Opasnost od požara i eksplozije

u rudnicima zapaljivi plin (pretežno metan) i ugljena prašina
eksplozija metana → uzvrtlavanje ugljene prašine → eksplozija ugljene prašine
u naftnom rudarstvu zapaljivi plinovi, i pare zapaljivih tekućina

područja PEX zaštite  I. podzemni rudnici
II. sva ostala mjesta (industrija)

u rudnicima - zemni plin (metan),
ugljena prašina,
mehanička oštećenja,
vlaga,
direktni kontakt s uređajima

na ostalim mjestima - plinovi - svi osim inertnih
prašine - metalne, ugljene, brašna, puderi, plastičnih materijala,
pare - zapaljivih tekućina
mehanička oštećenja
vlaga
kontakt s uređajima

za opremu postoje, na državnoj i međunarodnoj razini  konstrukcijski propisi i standardi
instalacijski propisi
propisi za održavanje

Zapaljive i eksplozivne atmosfere

zapaljive - gorivi medij + zrak (kisik) eksplozivne - (gorivi medij + zrak) u stanovitom omjeru

PROCESI GORENJA

Proces gorenja	Brzina širenja plamena (m/s)	Tlak (bara)	
Buktanje	do 2	—	BUKTANJE - trenutno izgaranje na rubnim granicama eksplozivnosti
Eksplozija	0,5—30	4—10	EKSPLOZIJA - trenutno izgaranje unutar granica eksplozivnosti lančanom reakcijom gorenja
Detonacija	1 000—4 000	10—60	DETONACIJA - trenutno izgaranje uz veliko povećanje tlaka i koncentracije medija

Eksplozivne atmosfere

agregatna stanja zapaljivog medija - plin, para, prašina

eksplozivna atmosfera samo ako

- određeni volumenski omjeri (koncentracija)
- tlak
- temperatura

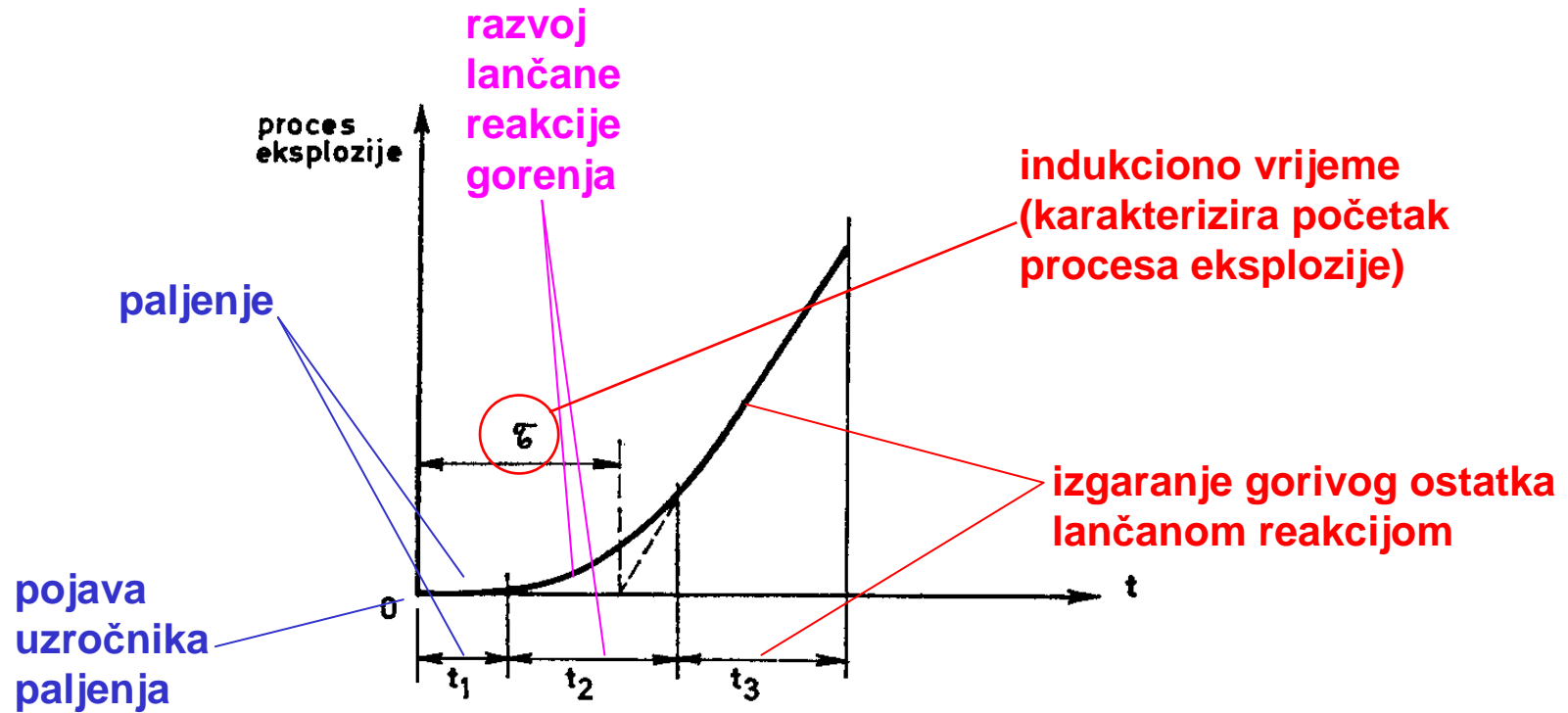
eksplozija samo ako

- postoji eksplozivna atmosfera
- dostatna temperatura uzročnika (nužno)
- dostatna energija uzročnika

EKSPLOZIJA POD ATMOSFERSKIM UVJETIMA

temperatura : - 25 do + 40 °C

tlak: oko 1013 hPa



vremenski tok procesa eksplozije eksplozivne atmosfere

granice eksplozivnosti :

dge - % (vol.) koncentracije plina u zraku

gge - % (vol.) koncentracije plina u zraku



z - koncentracija minimalne energije paljenja

p - koncentracija maksimalnog tlaka eksplozije

s - stehiometrijska smjesa (izgaranje bez ostatka : zap. medija i kisika)

Volumenske koncentracije eksplozivnosti

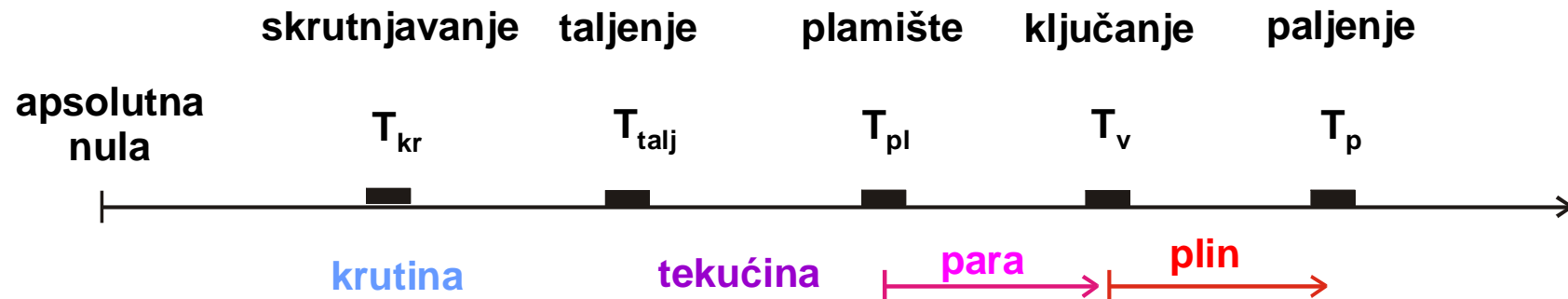
uzročnik inicijalnog paljenja

temperaturu \uparrow od min. temperature paljenja smjese
(prije ko potreban uvjet)

energiju $>$ od min. energije paljenja smjese

za paljenje eksplozije **uzročnik** mora imati toplinsku **energiju** dostatnu za **održavanje** potrebnog **toplinskog intenziteta** duže od **indukcionog vremena**

temperature i agregatna stanja zapaljive materije



Eksplozivne atmosfere zraka i plina

do eksplozije dolazi samo ako je

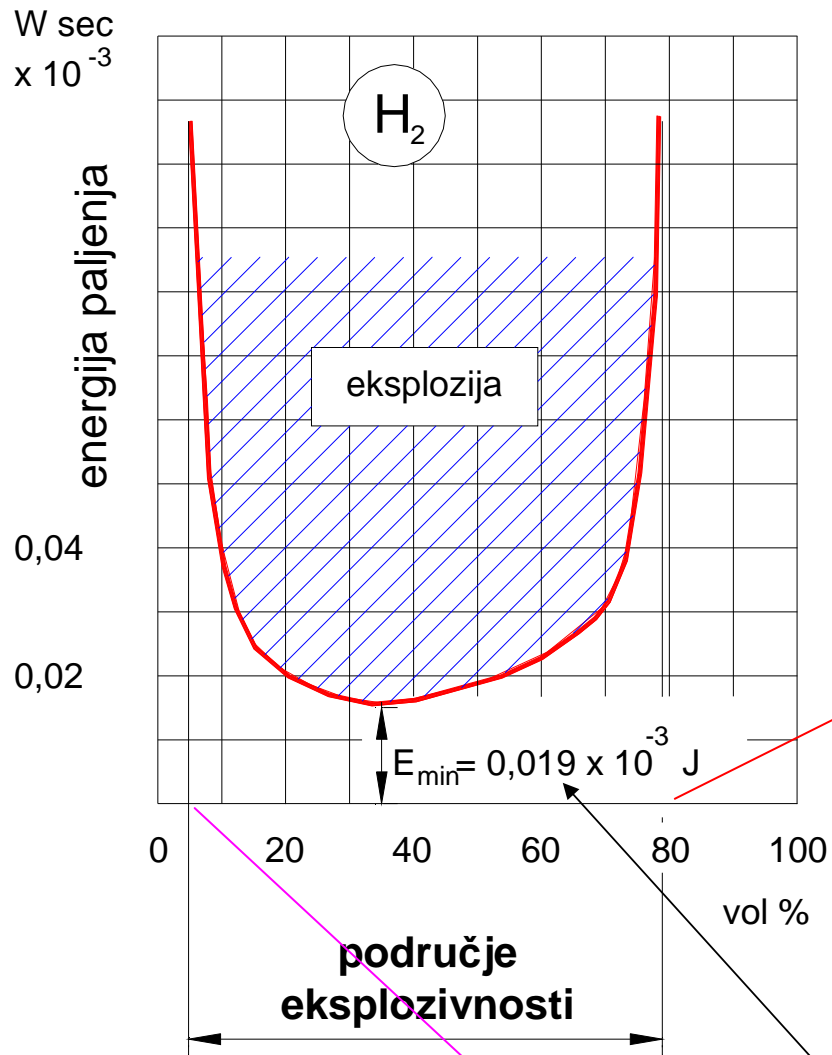
$$T_u \uparrow \text{ od } T_p \quad E_u > E_{pmin}$$

T_u - temperatura uzročnika paljenja

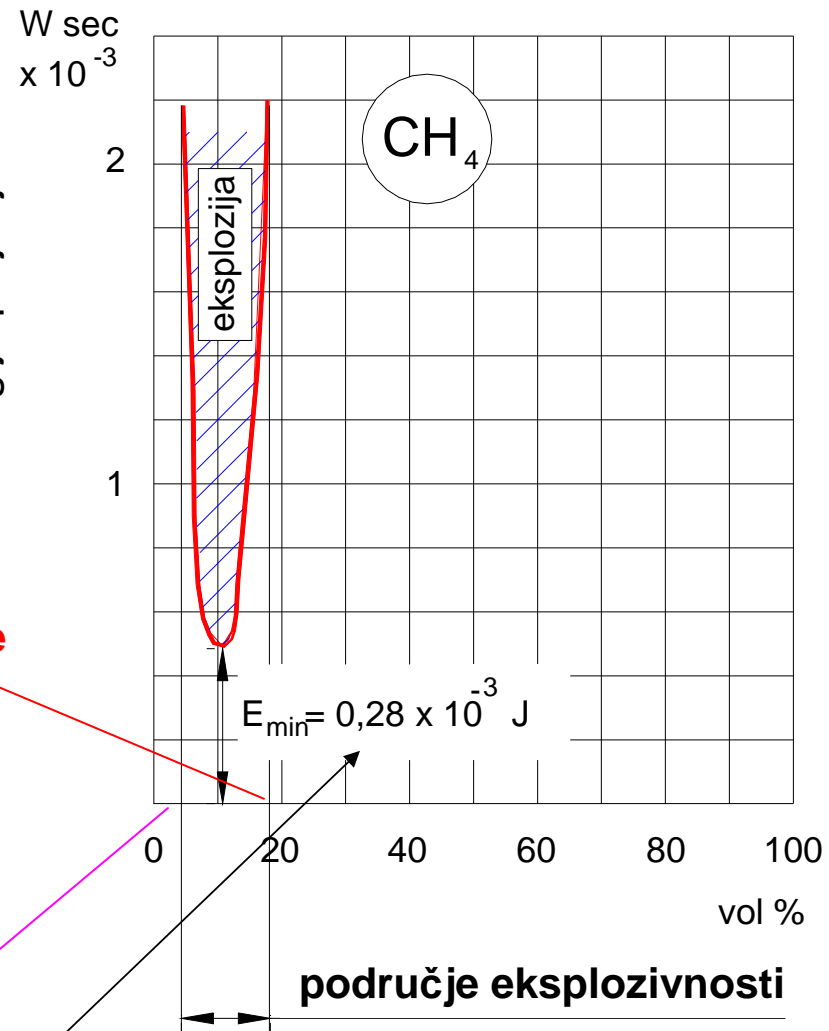
T_p - temperatura paljenja atmosfere

E_u - energija uzročnika paljenja

E_p - minimalna energija paljenja atmosfere



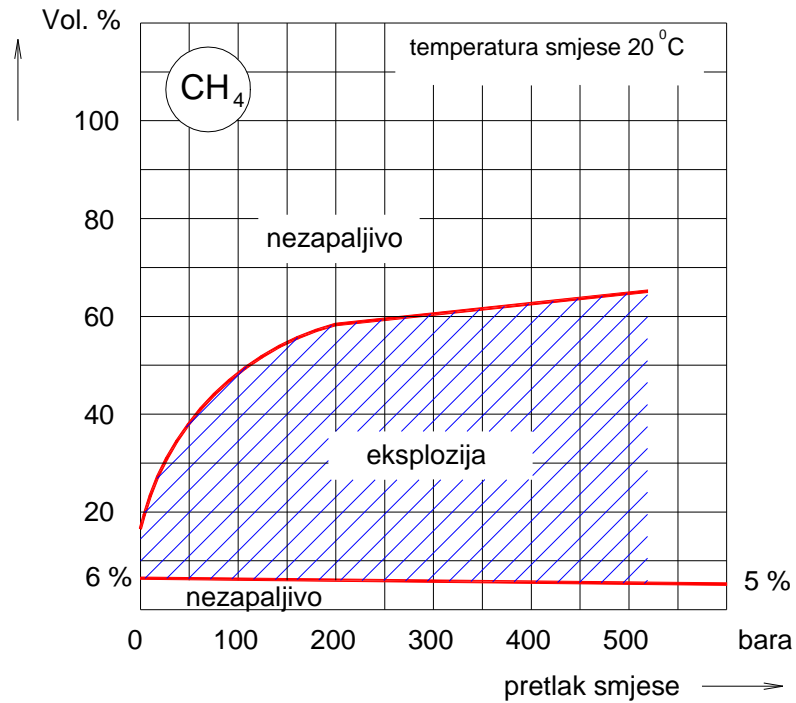
gge



1:15

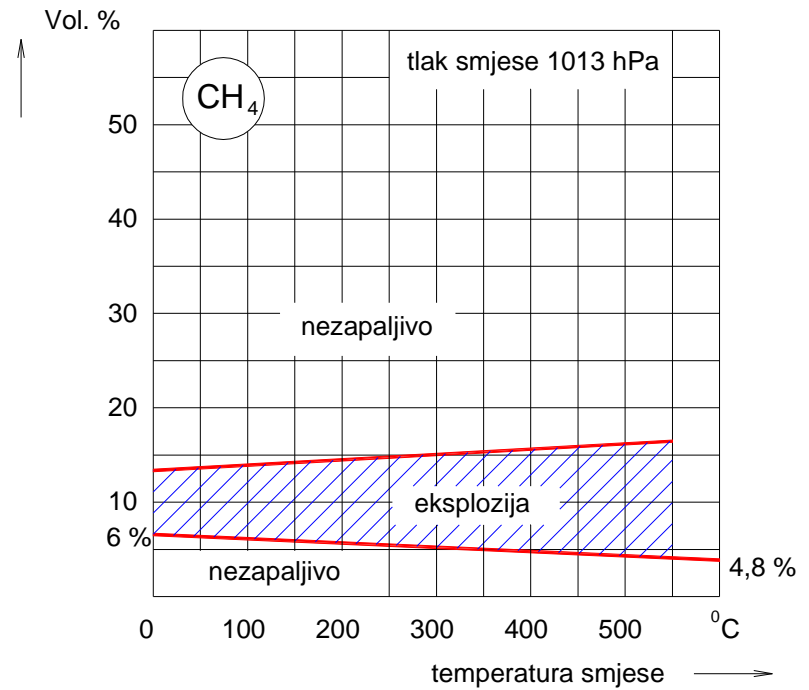
dge

tlak
povećava razmak između dge i gge
(izrazito povisuju gge)



Ovisnost granica eksplozivnosti zemnog plina o tlaku smjese

temperatura
povaćava razmak između dge i gge
(izrazitije povisuju gge)



Ovisnost granica eksplozivnosti zemnog plina o temperaturi smjese

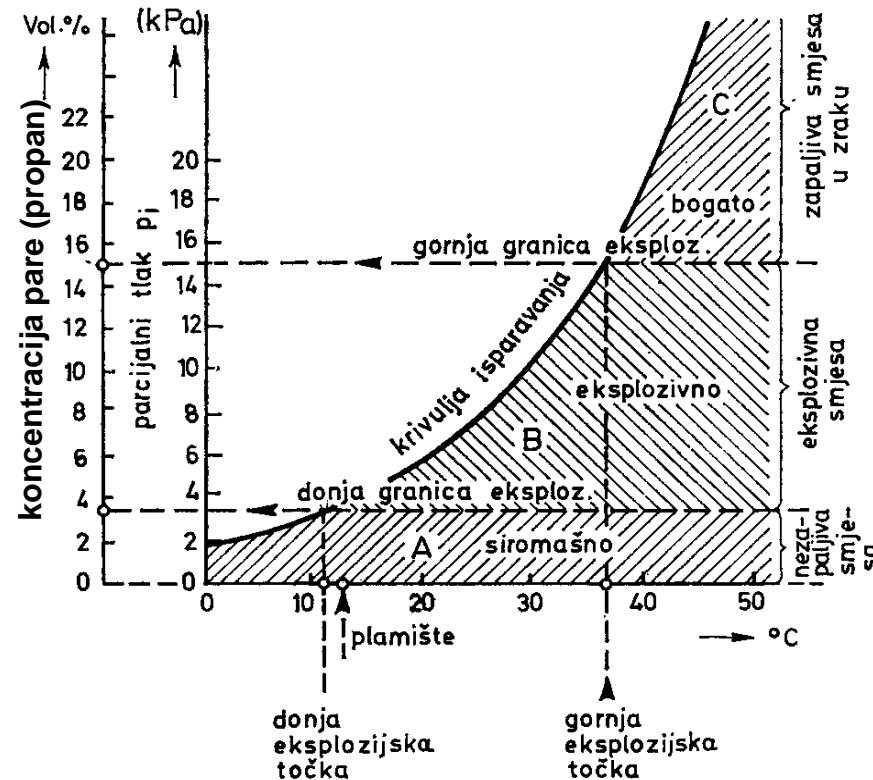
Eksplzivne atmosfere para zapaljivih tekućina

tekućine - mediji u tekućem stanju unutar 0,85 bar do 1,1 bar

-20 °C do +40 °C

za $T \downarrow$ od T_{pl} nema isparavanja nema eksplozivne atmosfere

za $T \uparrow$ ili $= T_{pl}$ isparavanje (ovisno o parcijalnom tlaku) \Rightarrow eksplozivna atmosfera



Granice i točke eksplozivnosti para zapaljivih tekućina

pri normalnim atmosferskim prilikama isparavaju ⇒ mogu stvoriti ekspl. atmos. (EA)

KLASIFIKACIJA ZAPALJIVIH TEKUĆINA

Hrvatski propisi °C		VDE (njemački) °C		UTE (francuski) °C		BS (britanski) °C	NFPA (USA) °C	
I	< 38 *)	I	< 21	A	≤ 15 (**)	< 32	I	< 38 (***)
II	38 - 55	II	21—55	B	< 55	32—66	II	< 60
III	> 55	III	> 55	C	≥ 55	> 66	III	< 93
				D	≤ 100			

(*) Dijeli se u tri podgrupe: I.1. < 23 s vrelištem < 38, I.2. vrelište > 38 I.3. plamtište > 23

(**) Grupa nije određena plamtištem, već tlakom isparavanja većim od 1 bara.

(***) Class I se dijeli na IA i IB < 23°C i IC ≥ 23°C

pri normalnim atmosferskim prilikama ne isparavaju ⇒ izuzetno stvaraju EA

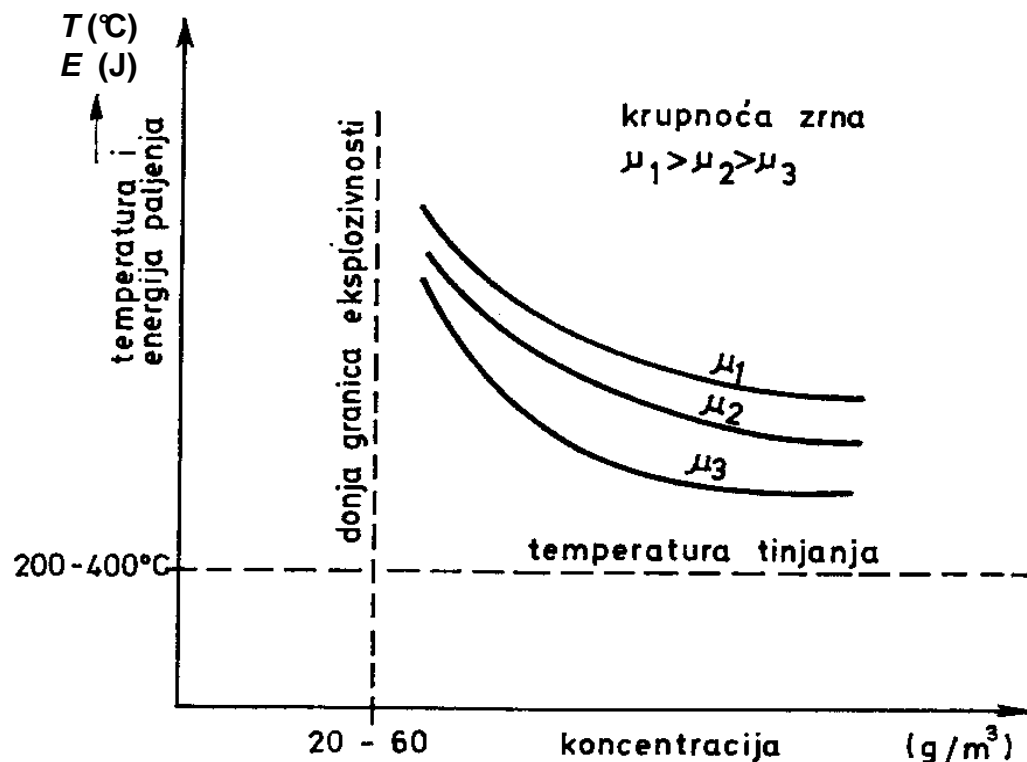
samo zagrijana tekućina na temperaturu iznad T_{pl} isparavaju ⇒ stvaraju EA

Eksplzivne atmosfere uzvitlane prašine i zraka

uzvitlane zapaljive prašine - kao pare zapaljivih tekućina

nataložena prašina (latentna opasnost) - tinjanje (temperatura tinjanja) uzvitlavanje prašine

tri grupe prašina: metalne, organskog porijekla i ugljene



paljenje tinjanjem pri temperaturi

$$T \uparrow \text{ od } T_{ti}$$

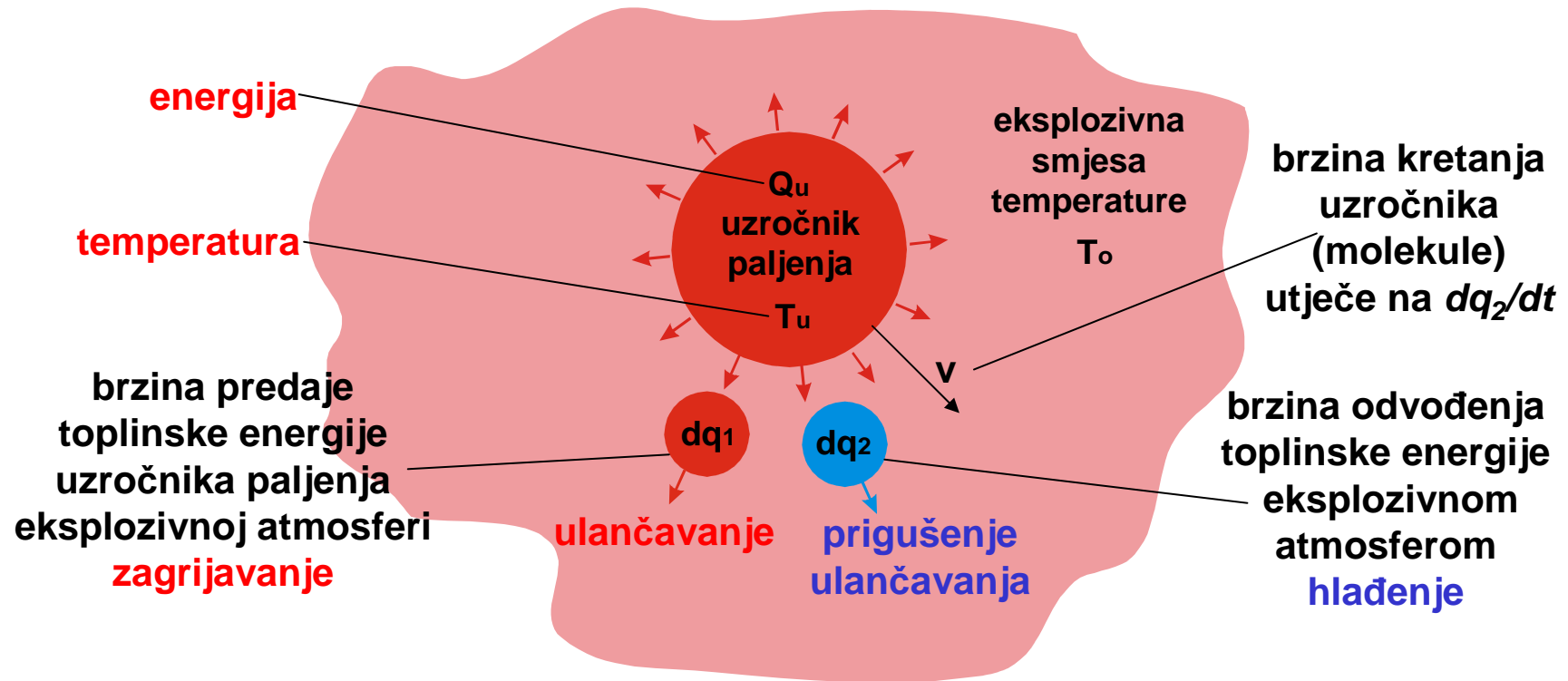
T_{ti} - temperatura tinjanja

T_{ti} - temperatura zagrijane vodoravne površine pri kojoj nastaje samozapaljenje 5 mm nataloženog sloja prašine

Granice eksplozivnosti zapaljivih prašina

Fizikalna svojstva eksplozije

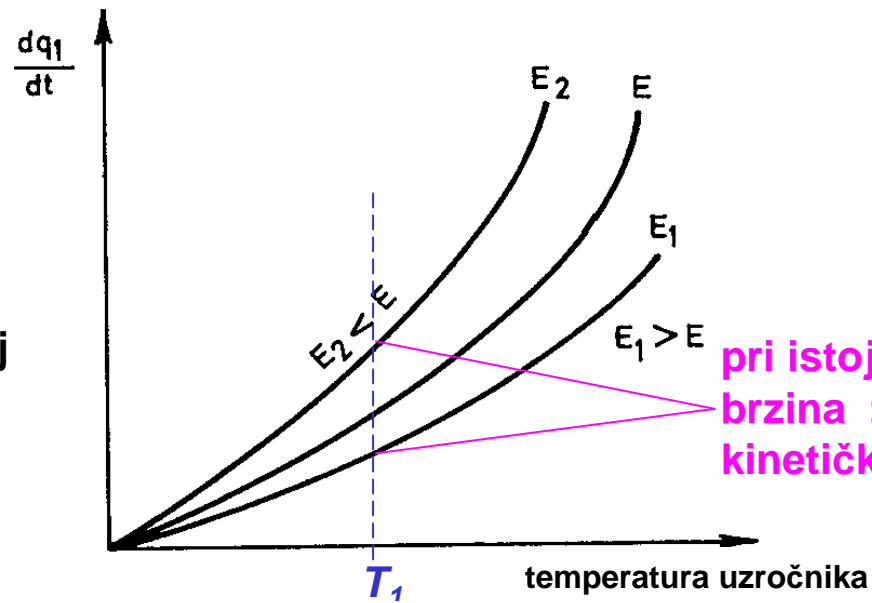
Uvjeti nastanka eksplozije



ako je $\frac{dq_1}{dt} > \frac{dq_2}{dt} \Rightarrow$ moguć lančani proces \Rightarrow eksplozija

ako je $\frac{dq_1}{dt} < \frac{dq_2}{dt} \Rightarrow$ nema lančanog procesa \Rightarrow nema eksplozije

brzina predaje topline
 ovisi o potrebnoj
 aktivirajućoj kinetičkoj
 energiji E



brzina odvođenja topline smjesom

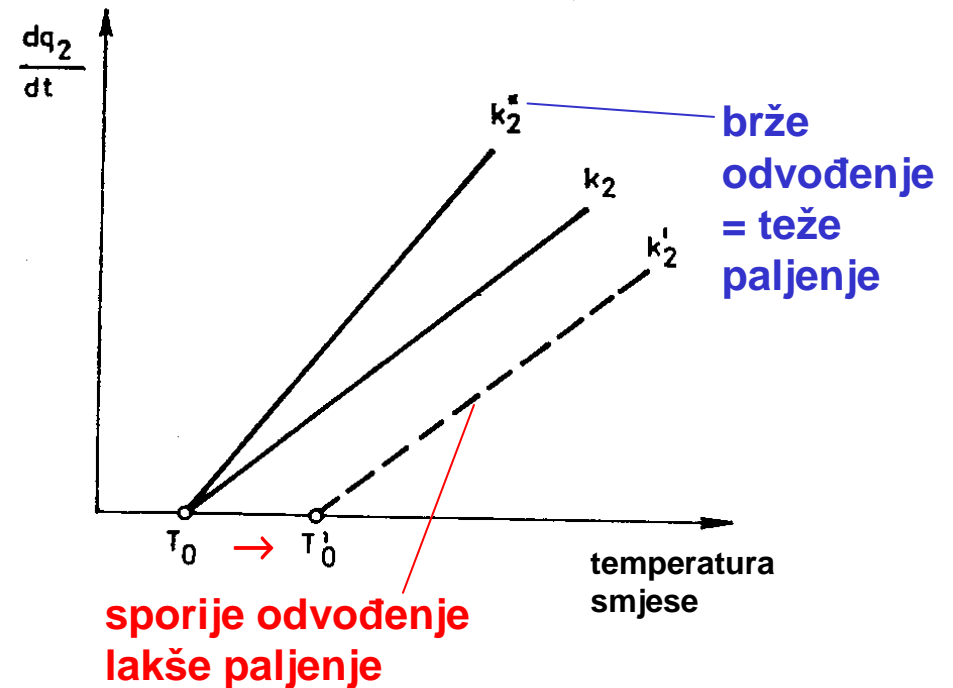
$$\frac{dq_2}{dt} = k_2 \cdot (T - T_o)$$

određuje intenzitet
 odvođenja

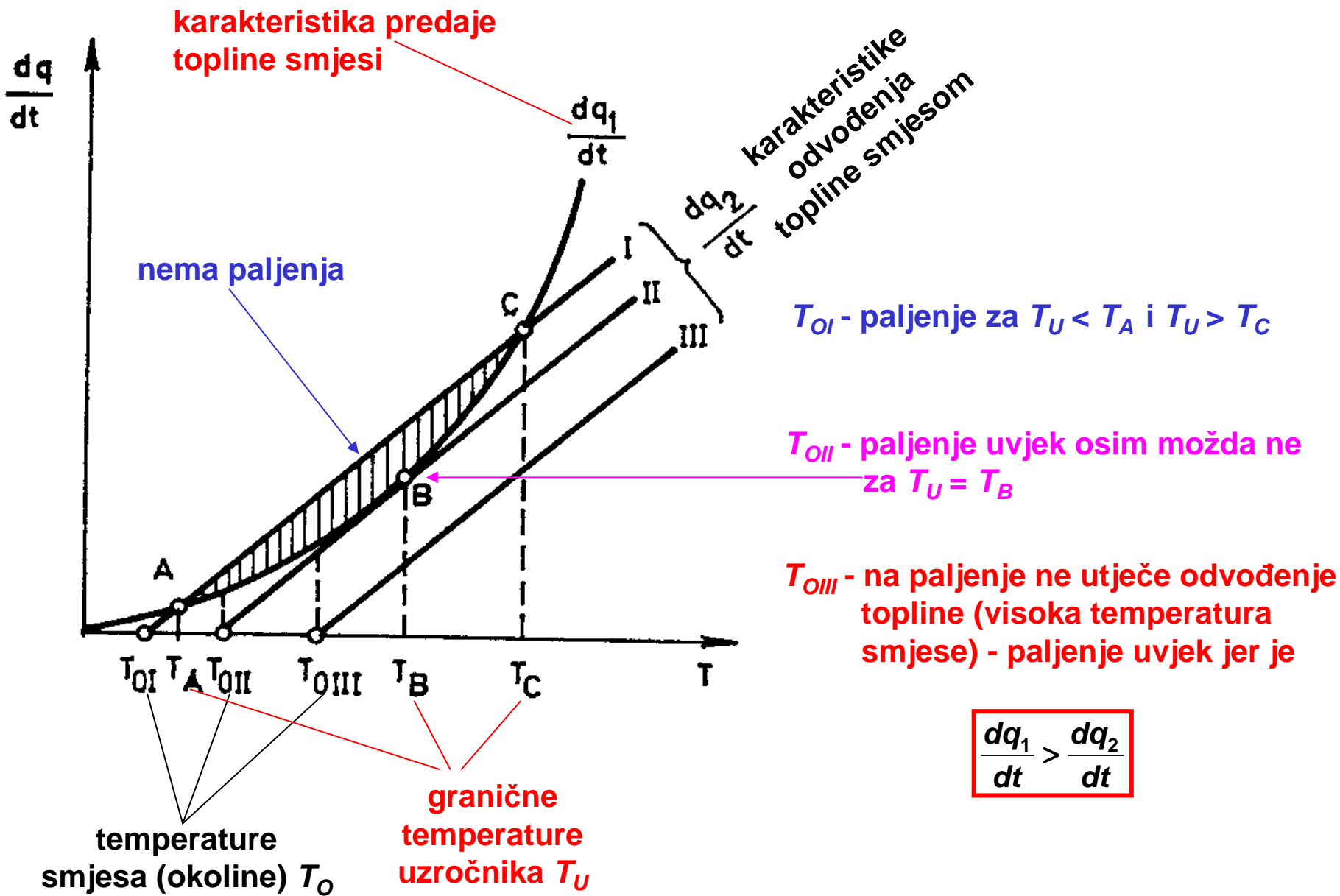
k_2 - konstanta (karakterizira odvođenje
 topline smjesom)

T - temperatura uzročnika

T_o - temperatura eksplozivne smjese



možućnost pojave inicijalnog paljenja



Toplina oslobođena eksplozijom

plin + O₂ (**EKSPLOZIJA**) = spoj s kisikom + ostatak + toplina

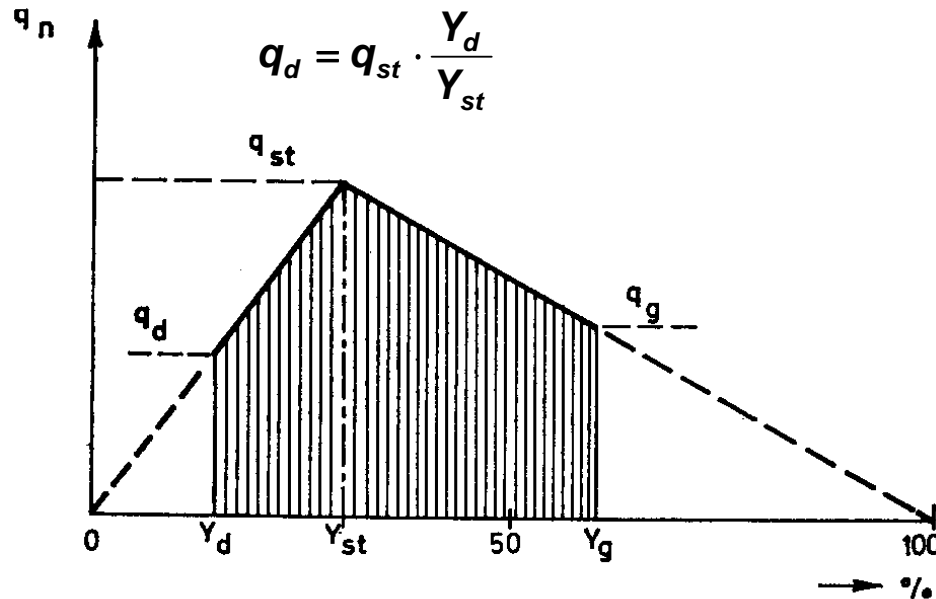
metana i zraka $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 800,9 \text{ kJ/mol}$ q_{st}

za stehiometrijske smjese

heksana i zraka $2\text{C}_6\text{H}_{14} + 19\text{O}_2 = 12\text{CO}_2 + 14\text{H}_2\text{O} + 12.259,8 \text{ kJ/mol}$

za donju granicu eksplozivnosti

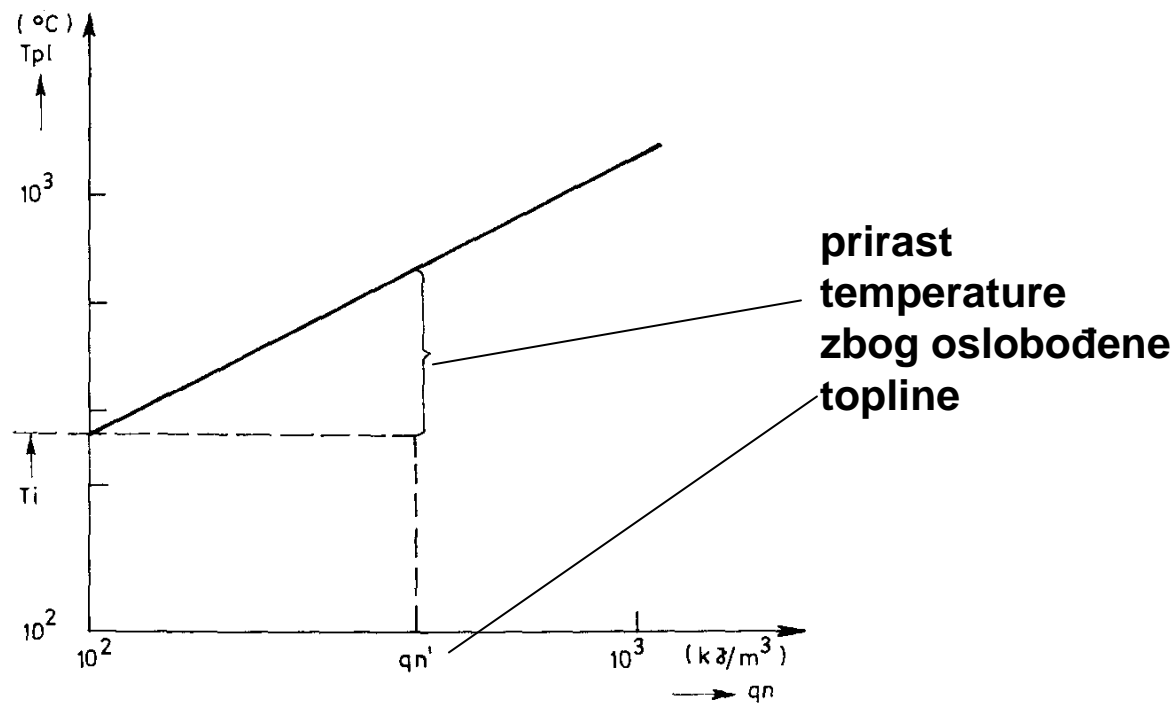
za gornju granicu eksplozivnosti



q_{st} - oslobođena toplina
stehiometrijskom smjesom
 Y_d - % (vol) donje granice
eksplozivnosti
 Y_s - % (vol) stehiometrijske
smjese

Oslobođena toplina eksplozijom u odnosu na volumensku koncentraciju eksplozivne smjese

Temperatura eksplozije



Odnos temperature eksplozije u odnosu na oslobodenu toplinu eksplozijom

temperature 1500 do 2500 $^{\circ}\text{C}$

Tlak eksplozije

za stehiometrijske smjese

za eksploziju u
zatvorenom
prostoru vrijedi

$$p_s \cdot V = R \cdot T_s \text{ za smjesu prije eksplozije}$$

$$p_e \cdot V = R \cdot T_e \text{ za eksplodiranu smjesu}$$

⇒

$$\frac{p_e}{p_s} = \frac{T_e}{T_s}$$

uz promijenu volumena (dilacija)

$$\mu = \frac{V_s}{V_e}$$

imamo

$$p_e = \mu \cdot p_s \cdot \frac{T_e}{T_s}$$

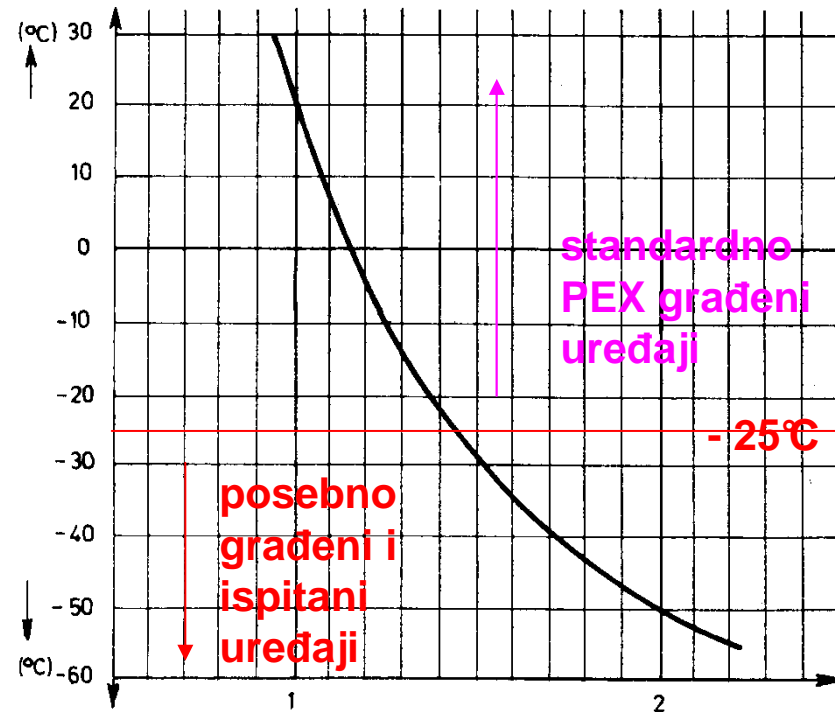
nadtlak eksplozije

$$p_{ne} \approx 22.4 \cdot 273 \cdot \frac{q_n'(273) \cdot \mu}{[c_v]_s^e \cdot T_s^2} = \frac{k}{T_s^2}$$

q_n' - toplina utrošena na povišenje
temperature od T_s do T_e

$[c_v]_s^e$ - srednja specifična toplina uz stalan
V za raspon temperatura od T_s do T_e

$$p_{ne} \approx f\left(\frac{1}{T_s^2}\right)$$



Ovisnost tlaka eksplozije o temperaturi eksplozivne smjese

za nestehiometrijske smjese

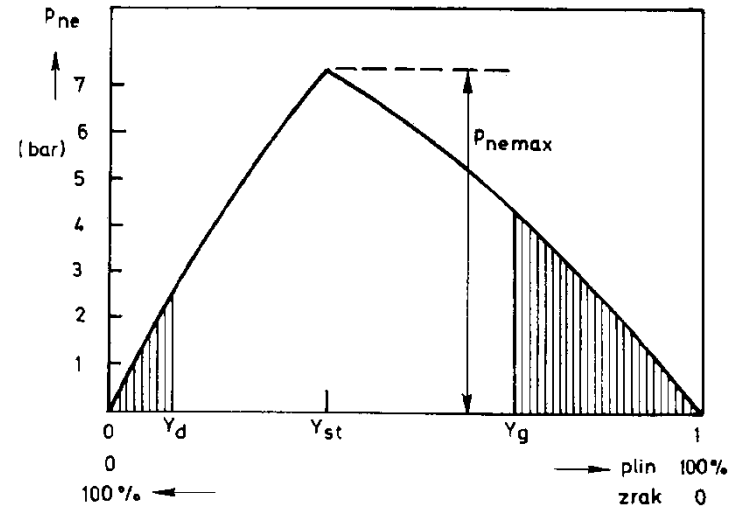
za $Y_x < Y_s$

$$p_{ne} \approx 0.0765 \cdot \frac{q_{st}' \cdot Y_x}{[c_v]_s^e \cdot Y_{st}} (k_i + Y_x \cdot k_{ij})$$

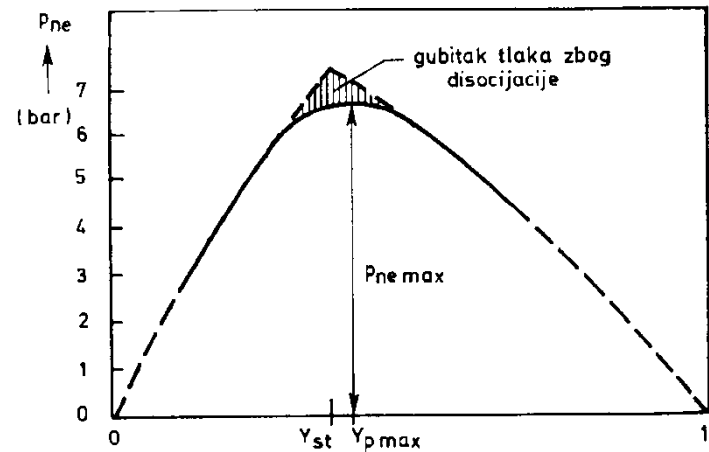
k-ovi ovisni o koncentraciji obzirom na stehiometrijsku smjesu

$$p_{ne} \approx 0.0765 \cdot \frac{q_{st}'}{[c_v]_s^e} \cdot \frac{1 - Y_x}{1 - Y_{st}} (k_i + Y_x \cdot k_{ij})$$

za $Y_x > Y_s$



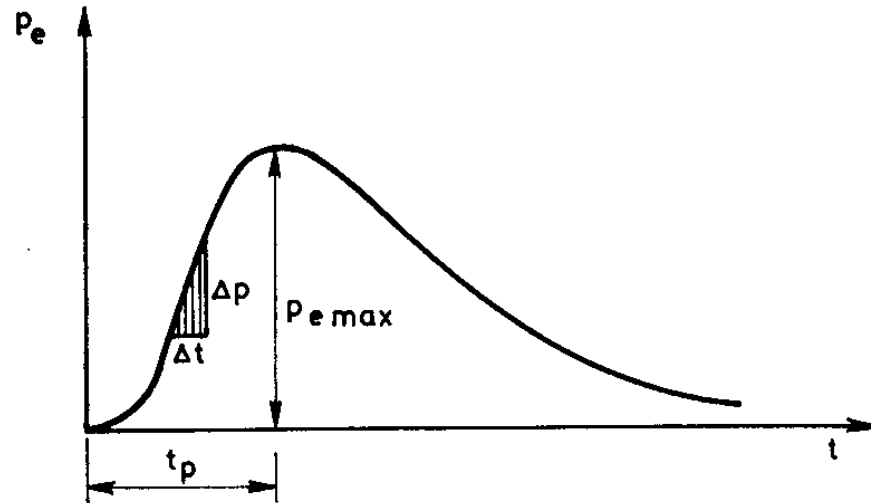
Računska krivulja tlaka eksplozije u odnosu na volumensku koncentraciju



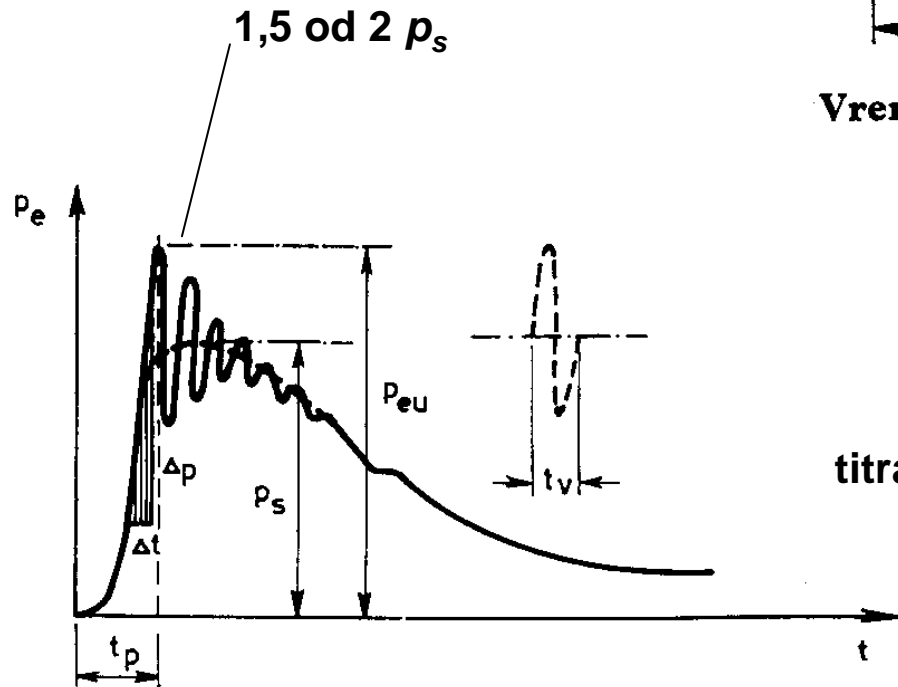
Y_{pmax} - smjesa plina i zraka maksimalnog tlaka eksplozije $Y_{pmax} \neq Y_{st}$

Krivulja tlaka eksplozije u odnosu na volumensku koncentraciju smjese

vremenska promjena
tlaka eksplozije



Vremenski tok tlaka eksplozije bez titranja



Vremenski tok tlaka eksplozije s titranjem

titranje uvjetuje $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ ($\frac{dp}{dt}$ - brizanca)
oblik i volumen prostora
(pojava rezonancije)

Povećani tlak eksplozije (pretkompresija)

tlak povećava gustoću smjese

$$g = \frac{p_s}{1.1013} \cdot \frac{273 + \vartheta_1}{273 + \vartheta_0} \rightarrow p_e = g \cdot p'_e$$

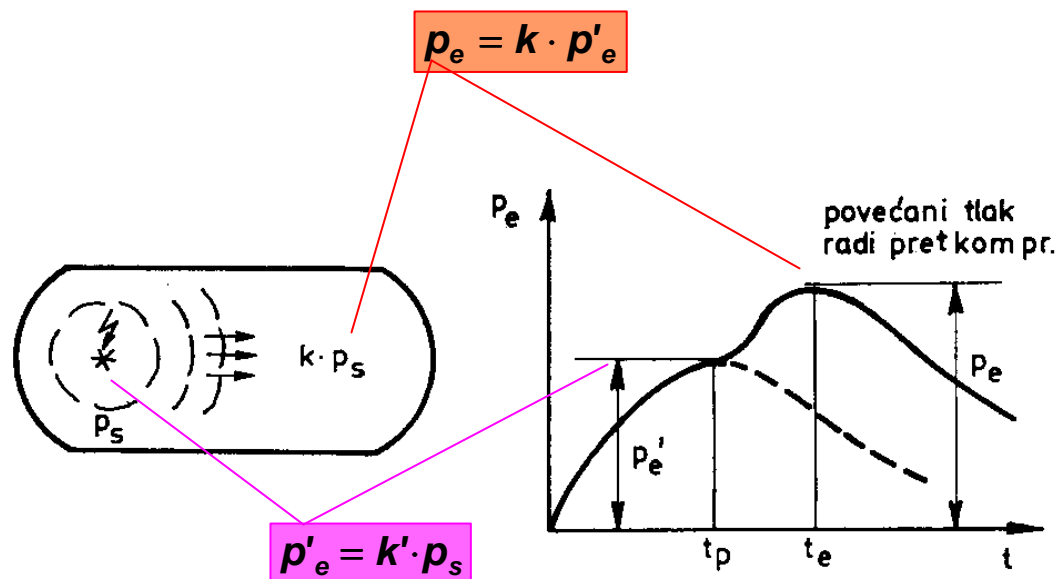
p_s - početni tlak smjese (mbar)

ϑ_1 - referentna temperatura (20 °C)

ϑ_2 - temperatura smjese °C

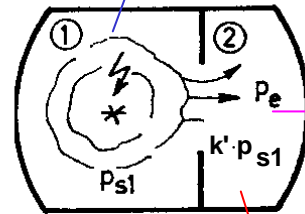
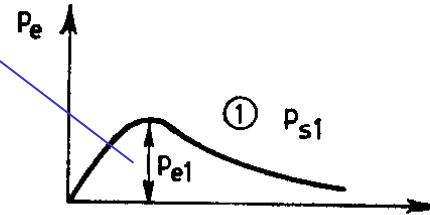
p'_e - tlak eksplozije bez povećanja gustoće

p_e - tlak eksplozije uz povećanu gustoću

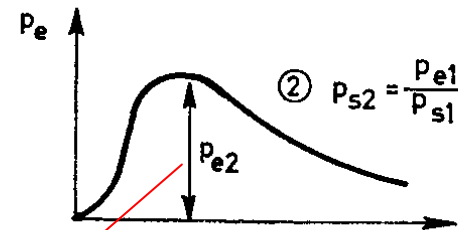


Povećanje tlaka eksplozije pretkompresijom u cjevastom prostoru

$$p_{e1} = k' \cdot p_{s1}$$



$$p_{s2} \approx p_{e1} = k' \cdot p_{s1}$$



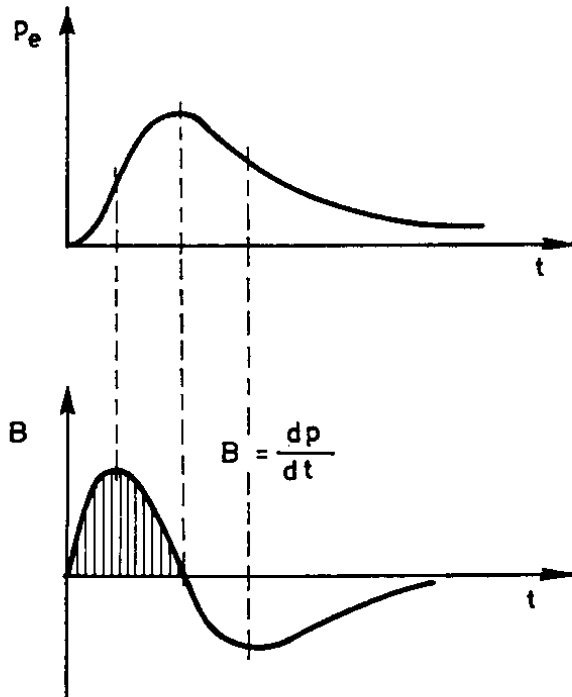
Povećanje tlaka eksplozije pretkompresijom u podijeljenom prostoru

$$p_{e2} = k'' \cdot p_{s2} = k'' \cdot k' \cdot p_{s1}$$

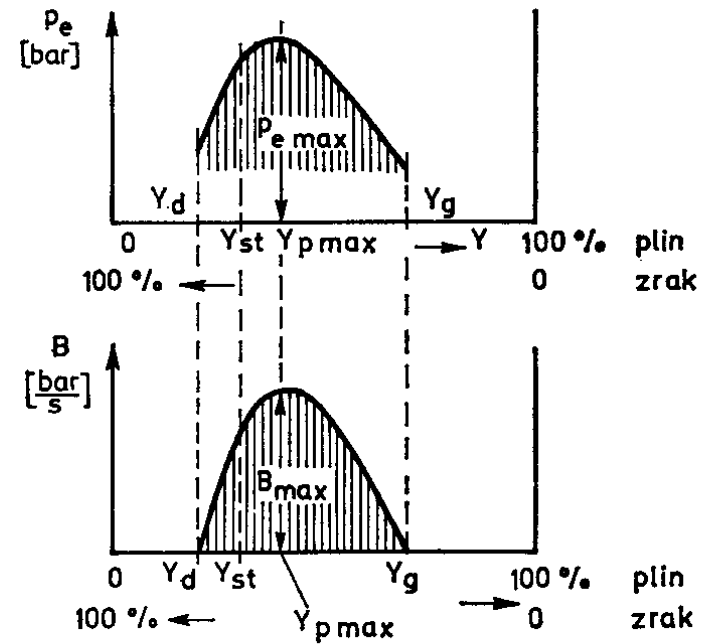
Brzina porasta tlaka (brizanca)

$$B = \frac{10^4}{k-1} \cdot V \cdot \frac{dp}{dt} \text{ (Nm/s)} \quad \text{ili} \quad B = \frac{100}{k-1} \cdot V \cdot \frac{dp}{dt} \text{ (kW)} \quad \text{uz} \quad k = \frac{[c_p]_s^e}{[c_v]_s^e}$$

k - omjer srednje specifične topline kod p i V konst. u rasponu temperature T_s i T_e



Vremenski tok tlaka i brizance eksplozije



Tlak i brizanca eksplozije u ovisnosti o volumenskoj koncentraciji smjese