

Gorenje in dinamika požarov

2. predavanje

Vsebina

trikotnik gorenja
gorivo, oksidant, vir vžiga

potek gorenja

vrste plamena
predhodno premešani plamen, difuzijski plamen

Osnove gorenja

Je eksotermna kemijska reakcija med gorljivo snovjo in oksidantom.

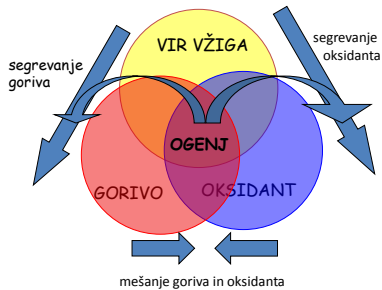
Gorljiva snov mora biti segreta na temperaturo vžiga.

Začetek gorenja - zunanji vir vžiga ali spontani vžig.

Sprošča se toplota.

Gorenje lahko poteka s plamenom ali brez plamena.

Trikotnik gorenja



Goriva

po agregatnem stanju:
plinasta, tekoča, trdna

po kemijski zgradbi:

organske snovi (sestavljajo jih pretežno atomi: C, H, N, S, P)
ogljikovodiki
zemeljski plin, nafta in derivati, premog
naravni (les, škrob, celuloza) in sintetični polimeri

kovine večina jih gori, če so v obliki prahu, nekatere celo eksplozivno;
gorljive kovine se hitro vžgejo, če so v prahu ali tanki plasti
Li, Na, K, Mg, Ca, Ti, Zn, Zr

nekovine vodik, fosfor, ogljik

Oksidanti

kisik

zrak vsebuje 21 vol.% O₂

lahko nastane pri razpadu oksidantov npr: KMnO₄, NaNO₃, KClO₃, H₂O₂
 $2 \text{KMnO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{O} + 2 \text{MnO}_2 + 3/2 \text{O}_2$

lahko je vgrajen že v spojino npr.: etilenoksid

klor, brom

Natrij gori v kloru in bromu, K v bromu

redke snovi goriijo v atmosferi CO₂, dušika

npr. Mg, Ti, in Zr v CO₂ in dušiku
Li v dušiku

Viri vžiga po obliki

ODPRT PLAMEN

varjenje, rezanje
plinski gorilniki
peči
širjenje požara iz sosesčine
goreče vžigalice

ISKRE

okvare na električnih kablih in napravah
statična elektrika
strela
iskre mehanskega izvora (trenje)
iskre kemijskega izvora (saje v dimniku)

Viri vžiga po obliki

VROČA TELES - VISOKA TEMPERATURA,
ki povzročijo, da so gorljive zmesi nad temp. samovžiga

zunanji viri toplote
električna grelna telesa
bojlerji, radiatorji
ogrevalni sistemi
vroče vodne, oljne in peščene kopelih

nezadostno hlajenje pri eksot. procesih
reakcije higroskopskih snovi z vodo

Viri vžiga po vrsti energiji

KEMIJSKI

toplota zgorevanja
spontano segrevanje
eksotermni razkroj, raztapljanje

ELEKTRIČNI

uporovno in dielektrično ogrevanje
visokonapetostni kabli
oblok
statična elektrika, strela

MEHANSKI

trenje (toplota, iskre)
komprimiranje plinov

JEDRSKI

KAKO GORENJE poteka

je odvisno od številnih dejavnikov:

lastnosti materiala

kemijske lastnosti, agregatno stanje
fizično stanje, površina, vlažnost

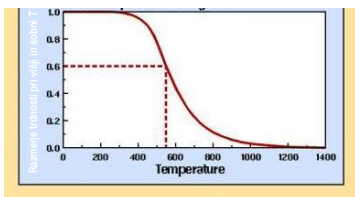
pogoji v okolju

prostorska razporeditev goriva, velikost prostora
stenske, talne obloge, stropi, prezračevanje in odvod toplote

širjenje plamena

gorljivost materiala

Kako se spreminja trdnost jekla s
temperaturo?



OSNOVNI MEHANIZMI GORENJA

S PLAMENOM (homogeno gorenje v plinski fazi
gorivo in oksidant sta plina)

predhodno premešani plamen

gorljiv plin in zrak sta premešana pred vstopom
v cono zgorevanja

difuzijski plamen

mešanje gorljivega plina z zrakom je postopno
z vrtničasto in/ali molekularno difuzijo

BREZ PLAMENA (heterogeno gorenje;

trdno gorivo in plinast oksidant)

z žarjenjem ali tlenjem

na površini trdnih gorljivih snovi

Plamen

S plamenom goriyo le plini.

Plamen vidimo, ker delci med reakcijo oddajajo svetlobo

Nepopolno gorenje C_xH_y - sevajo saje - rumen plamen

Popolno gorenje C_xH_y - moder plamen, visoka T , molekule v plinu so v vzbujenem stanju ali ionizirane, pri prehodu v osnovno stanje oddajo energijo, modro svetlobo

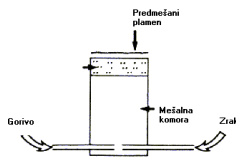
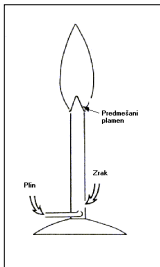
Zelo vroč plamen se imenuje plazma, ki povzroči ionizacijo plina.

Temperatura in barva plamena sta odvisna od goriva.

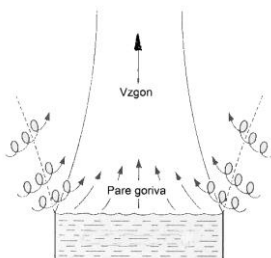
$T / ^\circ C$	
1400	sveča
1995	propan
3000	acetilen + kisik
4525	dician + kisik
4990	dicianoacetilen + kisik

Predhodno premešani plamen

v gorilnikih - najprej mešanje, potem gorenje - ločeni coni



Difuzijski plamen



gorivo in kisik se mešata med gorenjem

Sveča gori z difuzijskim plamenom



Najhladnejše območje difuzijskega plamena pri nepopolnem gorenju je rdeč (sevajo delci saj v plamenu). Ko temperatura v plamenu raste, se barva plamena spreminja tako kot spekter sevanja črnega telesa.

spekter sevanja črnega telesa

T °C	barva
480	šibko rdeče
580	temno rdeča
730	rdeče - oranžna
930	svetlo oranžna
1100	rumena
1300	belo rumena
1400	bela

Iz difuzijskega v predhodno premešani plamen

Pri Bunsnovem gorilniku je vrsta plamena odvisna od dotoka kisika.

1 - zaprt dotok zraka, difuzijski plamen (saje - rumen plamen)

4 - odprt dotok zraka, predhodno premešani plamen (višja T , ni saj)



Vprašanja

Opišite trikotnik gorenja.

Naštejte:

goriva,

oksidante in

vire vžiga (po obliki in vrsti energije).

Od katerih dejavnikov je odvisen potek gorenja?

Gorenje in dinamika požarov

3. predavanje

Vsebina

meje vnetljivosti

definicije, odvisnost, primeri, plinske zmesi, diagrami

SMV za mešanico vnetljivih plinov

SMV za hibridno zmes

samovžig

Meje vnetljivosti

koncentracija snovi v vol. %

SIST ISO 8421-1

SMV - spodnja meja vnetljivosti

je najnižja koncentracija hlapov v zraku, pod katero se plameni v prisotnosti vira vžiga ne širijo.

ZMV - zgornja meja vnetljivosti

je najvišja koncentracija hlapov v zraku, nad katero se plameni ne širijo.

SMV - spodnja meja vnetljivosti

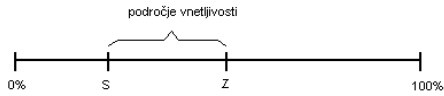
je najnižja koncentracija hlapov v zraku, pri kateri je že mogoče zgorevanje.

ZMV - zgornja meja vnetljivosti

je najvišja koncentracija hlapov v zraku pri kateri je še mogoče zgorevanje.

Za večino snovi sta podobni tudi meji eksplozivnosti *SME* in *ZME*, ki ju težje zanesljivo določimo.

Meje vnetljivosti - podatki



V volumskih odstotkih (včasih g/m^3) pri 25°C in atmosferskem tlaku.
Koncentracije med mejama vnetljivosti - področje vnetljivosti.

Meje vnetljivosti - primeri

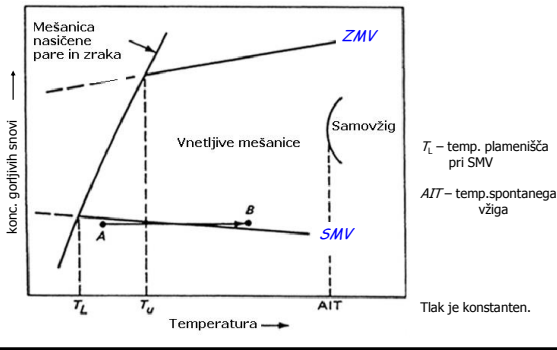
snov	SMV (vol. %)	ZMV (vol. %)
vodik	4	75
metan	5	15
etan	3	12,4
propan	2,1	9,5
metanol	6,7	36

Meje vnetljivosti

odvisne od:

snovi
koncentracija kisika ali inertnih plinov
temperature
tlaka
energije vira vžiga

Meje vnetljivosti - odvisnost od temperature

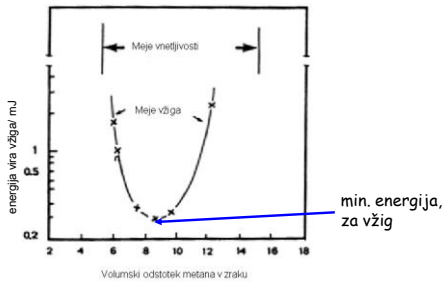


Temperatura plamenišča, spontanega vžiga

Temperatura plamenišča je najnižja temperatura na katero mora biti snov segreta, da se izločeni hlapi pod predpisanimi pogoji ob prisotnosti plamena hipno vžgejo. Gorenje preneha, ko zunanji vir (pilotni plamen) odstranimo.

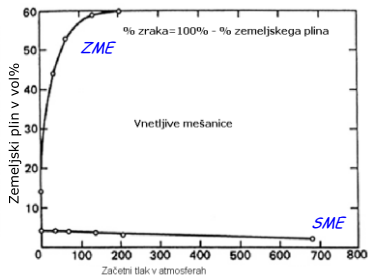
Temperatura spontanega vžiga (samovžiga) je najnižja temperatura, pri kateri nastopi vžig pod predpisanimi preskusnimi pogoji brez zunanjega vira vžiga. Snov se segreje, zaradi poteka eksotermne reakcije (samosegrevanja).

Meje vnetljivosti - odvisnost od energije vira vžiga



Krivulja energije vžiga za mešanico zrak/metan pri atmosferskih pogojih in 26°C.

Meje vnetljivosti - odvisnost od tlaka



Vpliv tlaka na spremembo ZME zemeljskega plina pri 28°C.

Meje vnetljivosti

	Lower flammability limit (L _{FL}) ^a			L _{FL} C _w	Upper flammability limit (U _{FL}) ^a			U _{FL} C _w	S _L (m/s)	Minimum ignition energy ^b (mJ)	Minimum quenching distance ^b (mm)
	% Vol	g/m ³	kJ/m ³		% Vol	g/m ³	g/m ³				
Hydrogen	4.0 ^c	3.6	435	0.13	75	67	2.5	3.2	0.01	0.5	
Carbon monoxide	12.5	157	1591	0.42	74	932	2.5	0.43	—	—	
Methane	5.0	36	1906	0.53	15	126	1.6	0.37	0.26	2.0	
Ethane	3.0	41	1952	0.53	12.4	190	2.2	0.44	0.24	1.8	
Propane	2.1	42	1951	0.52	9.5	210	2.4	0.42	0.25	1.8	
n-Butane	1.8	48	2000	0.58	8.4	240	2.7	0.42	0.26	1.8	
n-Pentane	1.4	46	2090	0.55	7.8	270	3.1	0.42	0.22	1.8	
n-Hexane	1.2	47	2124	0.56	7.4	310	3.4	0.42	0.23	1.8	
n-Heptane	1.05	47	2116	0.56	6.7	320	3.6	0.42	0.24	1.8	
n-Octane	0.95	49	2199	0.58	—	—	—	—	—	—	
n-Nonane	0.85	49	2194	0.58	—	—	—	—	—	—	
n-Decane	0.75	48	2145	0.56	5.6	380	4.2	0.40	—	—	
Ethene	2.7	35	1654	0.41	36	700	5.5	>0.69	0.12	1.2	
Propene	2.4	46	2110	0.54	11	210	2.5	0.48	0.28	—	
Butene-1	1.7	44	1998	0.50	9.7	270	2.9	0.48	—	—	
Acetylene	2.5	29	1410	—	(100)	—	—	1.7	0.02	—	
Methanol	6.7	103	2141	0.55	36	810	2.9	0.52	0.14	1.5	
Ethanol	3.3	70	1948	0.50	19	480	2.9	—	—	—	
n-Propanol	2.2	60	1874	0.49	14	420	3.2	0.38	—	—	
Acetone	2.6	70	2035	0.52	13	390	2.6	0.50	1.1	—	
Methyl ethyl ketone	1.9	62	1974	0.52	10	350	2.7	—	—	—	
Diethyl ketone	1.6	63	2121	0.55	—	—	—	—	—	—	
Benzene	1.3	47	1910	0.48	7.9	300	2.9	0.45	0.22	1.8	

^a Data from Zabetakis (1965). Mass concentration values are approximate and refer to 0°C (L(g/m³) = 0.45 M.L. (vol %)).
^b Data from various sources including Kanury (1975) and Lees (1980). There is uncertainty with some of these data (Lees, 1980; Harris, 1983).
^c See p. 111.

SMV za mešanico vnetljivih plinov v zraku Le Chatelierjevo pravilo

zmes je nad SMV, če je izpolnjen pogoj:

$$\sum_{i=1}^n (vol.\%_{i\text{vzraku}} / SMV_i) \geq 1$$

SMV_i - spodnja meja vnetljivosti posameznega plina (če je sam v zraku)

vol.%_{vzraku} - volumski delež posameznega plina v zmesi zraka in vnetljive zmesi

SMV za mešanico vnetljivih plinov v zraku Le Chatelierjevo pravilo

empirično pravilo za izračun SMV

$$SMV_m = \frac{100}{\sum_{i=1}^n (vol.\%_i / SMV_i)}$$

SMV_m - spodnja meja vnetljivosti zmesi v vol. %

SMV_i - spodnja meja vnetljivosti posameznega plina v vol. % (če je sam v zraku)

vol. % - vol. % posameznega plina v zmesi vnetljivih plinov (brez zraka)

SME za hibridno mešanico

Hibridna mešanica je zmes:
eksplozivnega prahu, vnetljivega plina in zraka.

$$SME_{hm} = SME_{prah} \left(1 - \frac{vol.\%_i}{SMV_i}\right)^n$$

$n = 2$ (večinoma) vol. %_i < SMV_i , sicer je eksplozivna že plinska zmes

SME_{hm} - koncentracija prahu [g/m³] pri spodnji meji eksplozivnosti hibridne zmesi

SME_{prah} - koncentracija prahu [g/m³] pri SME, če je v zraku samo prah

SMV_i - spodnja meja vnetljivosti posameznega plina, če je v zraku samo g. plin

vol. %_i - volumski delež posameznega plina v zmesi

Meje vnetljivosti - podatki

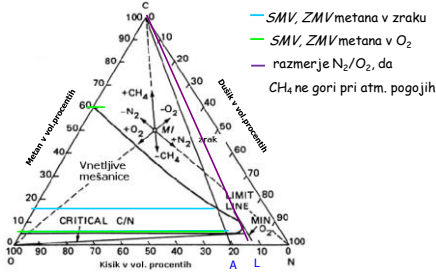
Diagrami:

"trikotni diagrami" - metan, dušik, kisik

"dvosmerni" - vpliv inertnih plinov (gasila)

Meje vnetljivosti - trikotni diagram

SMV za CH₄ v zraku ali kisiku sta podobni, ker sta c_p N₂ in O₂ podobni.



Meje vnetljivosti - vpliv inertnih plinov

višja koncentracija dušika ali dodatek inertnega plina v zmes gorljivega plina in zraka povzroči:

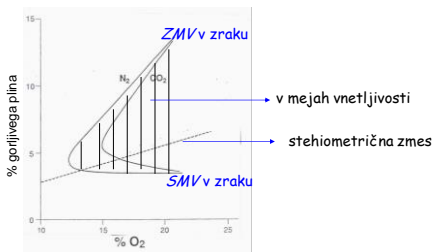
nižjo koncentracijo kisika

področje vnetljivosti se oži (izrazit vpliv na ZMV, manjši na SMV)

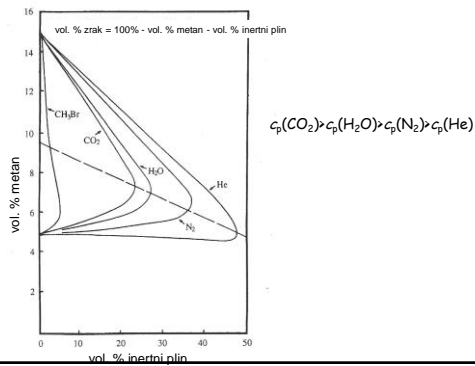
pomembna je vrsta inertnega plina (različne c_p)

Ob dodatku halonov - še kemijska inhibicija.

Meje vnetljivosti - vpliv inertnih plinov



Meje vnetljivosti - vpliv inertnih plinov



Samovžig trdnih in tekočih snovi

Pogoji za samovžig

- Eksotermna reakcija (samodejno segrevanje, T_{raste})
- Oksidacija poteka, če je dovolj kisika
- Počasen prenos toplote iz mesta nastanka v okolico (izolativne snovi)
- Tlenje, pooglenitev

Trdna snov - samovžig
 - se pojavi v večjem kupu snovi,
 - čas je dolg.

Primeri samovžigov

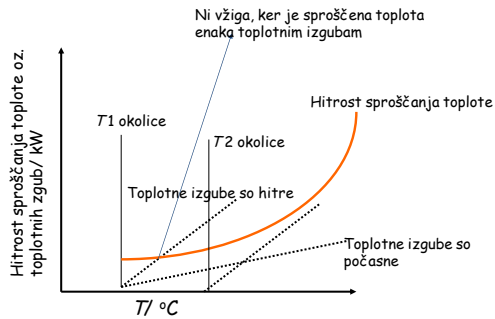
organske snovi (komunalni odpadki)

kmetijski pridelki (pšenica - mikrobiološka
 aktivnost lahko povzroči dvig temp. do 75°C)

toplota, ki nastaja pri razkroju (eksotermne reakcije)

segrevanje in vžig premoga (hitrost segrevanja lahko
 tudi do 5°C/h)

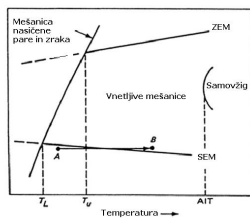
Samovžig



Temperatura spontanega vžiga in koncentracija

temperatura s.v. je odvisna od koncentracije snovi v zraku

vol. % propana v zraku	$T_{s.v.}$ [°C]
1,5	548
3,75	502
7,65	476



Temperatura spontanega vžiga in velikost posode

$T_{s.v.}$ ogljikovega disulfida (CS_2) je odvisna od velikosti rezervoarja*:

V_{posode} [cm ³]	$T_{s.v.}$ [°C]
200	120
1000	110
10000	96

*majhna količina CS_2 v posodi

Vprašanja

Definicije SMV , ZMV , $T_s.v.$, T_p plameniščča,

Kaj vpliva na SMV , ZMV ? Razložite.

Narišite graf za meje vnetljivosti v odvisnosti od temperature.

Naloge - uporaba formul

$$SMV_{in} = \frac{100}{\sum_{i=1}^n (vol.\%_i / SMV_i)} \quad \sum_{i=1}^n (vol.\%_{i,ovredn} / SMV_i) \geq 1 \quad SME_{in} = SME_{ovredn} \left(\frac{vol.\%_i}{SMV_i} \right)^2$$

Kaj je samovžig? Pri katerih pogojih pride do samovžiga?
