

Gorenje in dinamika požara

20. predavanje

Vsebina

Vžig (pilotni ali spontani)

plinov

tekočin

trdnih snovi ($T_{vžigo}$ in $T_{vžigo}$, „tanki“ in „debeli“ predmeti)

Uvod

Razvoj požara je odvisen od:

vžiga

hitrosti širjenja plamena

hitrosti gorenja

Vžig

Vžig je proces s katerim se začne gorenje.

pilotni vžig,

vnetljiva zmes se vžge v samostojnem plamenu, zaradi električne iskre ali na vroči točki.

Ob vžigu je v predhodno premešanem sistemu minimalna koncentracija goriva pri SMV.

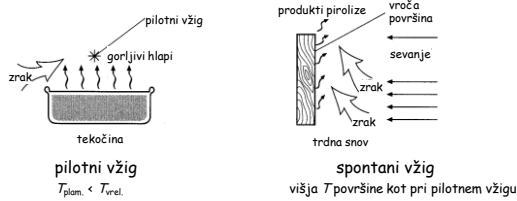
spontani vžig,

začne se zaradi eksotermne kemijske reakcije v zmesi goriva in oksidanta, podobno kot pri samovžigu v trdnem gorivu; gorivo mora biti pri določeni koncentraciji.

Vžig

Pilotni in spontani vžig potekata podobno za

- tekočine, ki izhlapevajo in
- trdne snovi, ki razpadajo s pirolizo.



Vžig

Za vžig ni potrebno segreti celotne gorljive zmesi, zadostuje že majhen del. Toplota, ki se sprošča med gorenjem, segreva še ostanek gorljive zmesi, gorenje je kontinuirno.

Energija vžiga je energija, ki je potrebna za segrevanje dela zmesi pri okoliški temperaturi, da se zmes vžge.

Vžig

Potrebna energija vžiga je odvisna od vrste gorljive snovi, koncentracije ter vrste vira vžiga.

Minimalna energija vžiga je pri koncentraciji malo nad stehiometrijsko (najbolj reaktivna zmes).

Če je vir vžiga električna iskra, zaradi tvorbe prostih atomov in radikalov, zadošča vir z nižjo energijo.

Vžig plinov

Samostojno gorenje plinske zmesi je zagotovljeno, če je dosežena mejna ali minimalna adiabatska temperatura plamena.

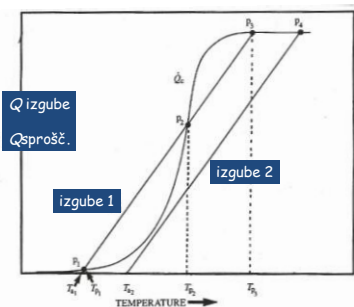
Hitrost sproščanja toplote je dovolj velika za samostojen potek gorenja kljub toplotnim izgubam v okolje.

Minimalna koncentracija plinov je pri SMV.

za večino $C_xH_yO_z$ velja, da je pri SMV
 $T_{mop} > 1600 \pm 100$ K

izjeme: T_{mop}
 H_2 980 K
 CO 1300 K
 C_2H_2 1280 K

Vžig gorljivega plina



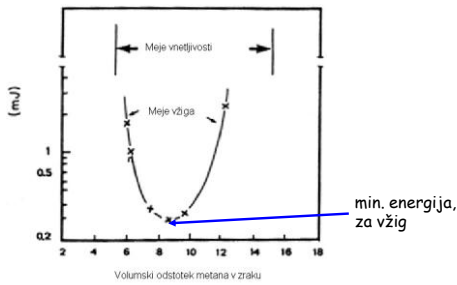
ravnotežno stanje
 p_1, p_2, p_3

$Q_{sprošč.} = Q_{izgube}$

možna v p_2 ,
 bistvena sprememba

vžig nad T_{p2}

Minimalna energija vžiga



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

Minimalna energija vžiga

	Lower flammability limit (LFL)			$\frac{L}{C_w}$	Upper flammability limit (UFL)			$\frac{U}{C_w}$	S _g (m/s)	Minimum ignition energy ^a (mJ)	Minimum quenching distance ^b (mm)
	% Vol	g/m ³	kJ/m ³		% Vol	g/m ³	kJ/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 Zabotnik (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, Harris, 1983).
^c See p. 111.

Vžig tekočin

$$T_{\text{plamenišča}}$$

kaže na sposobnost vžiga tekočine (vžigljivost)

Verjetnost vžiga je večja pri tekočinah, ki imajo

$$T_{\text{plamenišča}} < T_{\text{okolica}}$$

Vžig tekočin

$T_{\text{plamenišča}} < T_{\text{okolica}}$ lahko vnetljive tekočine

parni tlak tekočine nad površino je relativno visok,

koncentracija par nad tekočino je lahko

- a) v mejah vnetljivosti (nad SMV in pod ZMV)
- b) nad ZMV

Vžig tekočin

a) vžig par nad tekočino, če so pare v mejah vnetljivosti

b) pare neposredno nad tekočino so nad ZMV , a z oddaljenostjo od površine tekočine parni tlak pada in višje je plast zmesi, ki je v območju vnetljivosti

Vir vžiga v vnetljivi zmesi - gorenje s predhodno premešanim plamenom.

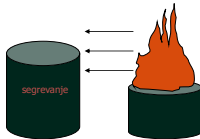
Vžig tekočin

$T_{\text{plamenišča}} > T_{\text{okolica}}$ težko vnetljive tekočine

Pogoj za vžig - del tekočine se mora segreti nad $T_{\text{plamenišča}}$

Vžig tekočin

Za samostojno gorenje je dovolj, da se segreje le površinski sloj tekočine.



Vžig tekočin

Enakomerno segrevanje

- toplejši sloj tekočine ostane na površini, ker je lažji, ne pride do mešanja s hladnejšo tekočino.

Lokalno segrevanje

- zaradi mešanja se mora segreti debelejši sloj tekočine, preden se del površine segreje do plamenišča.

Vžig tekočin z visokim plameniščem

Način vžiga tekočine z visokim plameniščem:

tekočina je absorbirana v poroznem mediju

Primer - parafin + stenj - gorenje sveče

Vžig trdnih snovi

- Vžig trdnih snovi, ki gori samo z žarenjem
- Vžig trdnih snovi, ki se pred gorenjem stalijo
- Vžig trdnih snovi, ki gori po pirolizi

Vžig trdnih snovi, ki žarijo

Segrevanje do temperature vžiga - površinska oksidacija je dovolj intenzivna, da se gorenje z žarenjem samostojno nadaljuje.

Temperatura vžiga je v intervalu zaradi nestalnih lastnosti trdnih snovi (primesi, vlaga).

ogljik	700 °C
koks	500-540 °C
lesno oglje	350 °C

Vžig trdnih snovi, ki se stalijo

poteka kot vžig tekočin z visokim plameniščem
 – segrevanje nad plameniščem,
 – za vžig in nadaljevanje gorenja ni nujno, da se segreje vsa snov.

Vžig trdnih snovi, ki gori po pirolizi

Za vžig je potrebno predhodno segrevanje, nastanejo gorljivi plini, ki ob površini tvorijo vnetljivo zmes z zrakom.

Plinasti produkti pirolize se vžgejo s pilotnim plamenom ali iskro ali spontano ob vroči površini trdne snovi.

Vžig trdnih snovi, ki gori s pirolizo

Pomemben parameter je $T_{\text{površine}}$ trdne snovi ob vžigu.

Pri pilotnem vžigu so $T_{\text{površine}} \quad 250 - 450^{\circ}\text{C}$,

Pri spontanem vžigu je večinoma $T_{\text{površine}} > 500^{\circ}\text{C}$

Testi vžigljivosti omogočajo, da določimo čas do vžiga neke snovi pri določenih pogojih.

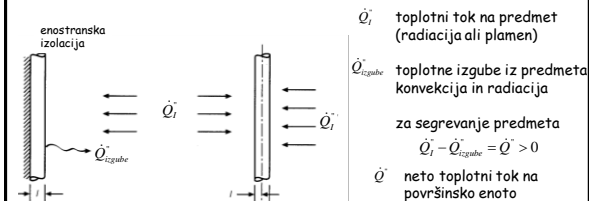
Rezultati testov omogočajo različne izračune, pomembna je razlika med „tenkimi“ in „debelimi“ predmeti.

Vžig „tankih“ predmetov

„tanek“ predmet

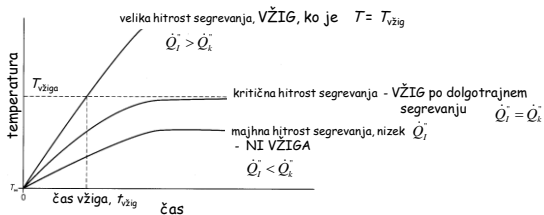
$t_{\text{izpostavljenosti}} \gg t_{\text{penetracije}}$

T je enaka v celotnem predmetu



Vžig „tankih“ predmetov

\dot{Q}_{izgube} so funkcija T



Vžig „tankih“ predmetov

Predmet se segreva, če: $\dot{Q}_i - \dot{Q}_{\text{izgube}} = \dot{Q} > 0$

\dot{Q} neto toplotni tok na površinsko enoto

Predmet se segreje na temperaturo T , če dovedemo potrebno toploto ΔH .

Pri toplotnem toku \dot{Q} traja to določen čas t .

$$\Delta H = m \cdot c \cdot (T - T_\infty) = A \cdot l \cdot \rho \cdot c \cdot (T - T_\infty) = \dot{Q} \cdot A \cdot t$$

$$T = T_\infty + \frac{\dot{Q} \cdot t}{l \cdot \rho \cdot c}$$

Čas do vžiga „tankih“ predmetov

Pri nizkem toplotnem toku ni vžiga.

Pri kritičnem toplotnem toku \dot{Q}_k - vžig po dolgotrajnem segrevanju.

$$T = T_\infty + \frac{\dot{Q} \cdot t}{l \cdot \rho \cdot c}$$

$$T = T_{\text{vžig}}; t = t_{\text{vžig}}$$

$$t_{\text{vžig}} \approx \rho \cdot c \cdot l \cdot \frac{(T_{\text{vžig}} - T_\infty)}{\dot{Q}}$$

- ρ gostota
- c specifična toplota
- l debelina

„Debeli“ predmeti, $T_{\text{površine}}$ in toplotna vztrajnost snovi

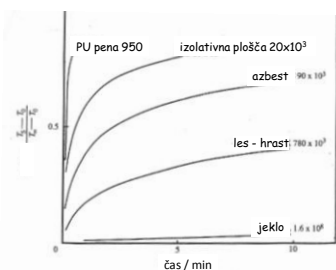
Hitrost naraščanja površinske temperature je obratnosorazmerna

toplotni vztrajnosti snovi, ki je odvisna od $k \rho c$

k - toplotna prevodnost, ρ - gostota, c - specifična toplota

Snovi z majhno toplotno vztrajnostjo (PU), se hitreje segrevajo na površini in hitreje vnamejo od snovi z večjo toplotno vztrajnostjo (les).

Toplotna vztrajnost snovi



Učinek toplotne vztrajnosti na naraščanje temperature na površini trdne snovi.

Toplotna difuzivnost snovi

Toplotna difuzivnost je merilo za prodiranje toplote v snov.

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} \quad [m^2 / s]$$

k - toplotna prevodnost, ρ - gostota, c - specifična toplota

Toplotna vztrajnost in difuzivnost

	k [W/m K]	c [J/kg K]	ρ [kg/m ³]	α [m ² /s]	$k\rho c$ [W ² s /m ⁴ K ²]
baker	387	380	8940	$1,1 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^9$
jeklo	45,8	460	7850	$1,3 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^8$
opeka	0,69	840	1600	$5,2 \times 10^{-7}$	$9,3 \times 10^5$
steklo	0,76	840	2700	$3,3 \times 10^{-7}$	$1,7 \times 10^6$
les*	0,17	2380	800	$8,9 \times 10^{-8}$	$3,2 \times 10^5$
PMMA	0,19	1420	1190	$1,1 \times 10^{-7}$	$3,2 \times 10^5$
PP				$1,3 \times 10^{-7}$	
PS				$8,3 \times 10^{-8}$	
PU	0,034	1400	20	$1,2 \times 10^{-6}$	$9,5 \times 10^2$

*hrastovina

Parameter toplotne odpornosti - TRP

$$TRP = (T_{vžig} - T_{\infty}) \sqrt{k\rho c} = \Delta T \sqrt{k\rho c}$$

$$\Delta T = T_{vžig} - T_{okolice} \quad [K]$$

TRP = parameter toplotne odpornosti [kW s^{1/2}/m²]

uporabno pri oceni
odpornosti na vžig in
širjenja plamena

TRP je odvisen od
kemijskih in fizikalnih lastnosti snovi

Čas do vžiga - $t_{vžig}$

$$t_{vžig} = \frac{TRP^2}{4/\pi(\dot{Q})^2} = \frac{(T_v - T_{\infty})^2 k\rho c}{4/\pi(\dot{Q})^2}$$

velja za "debele vzorce"

$t_{vžig}$ = čas do vžiga [s]

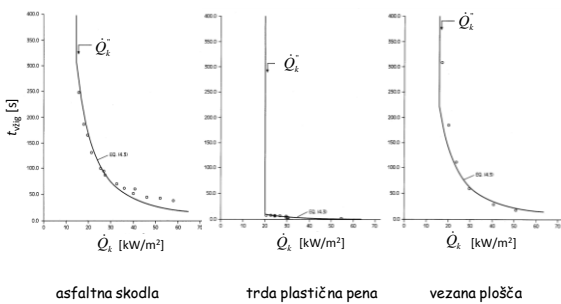
\dot{Q} = neto toplotni tok [kW/m²]

$k \rho c$ - povprečne vrednosti v območju $T_{\infty} \rightarrow T_{vžig}$

Kritični toplotni tok in čas vžiga „debelih“ predmetov

\dot{Q}_k [kW/m ²]	$t_{vžig}$ [s]	material
10	300	PMMA, pena PU
20	70	volnena preproga
	150	papir na mavčni plošči
	200	iverka

Podatki za vžig



Kritični toplotni tok in $T_{vžiga}$

material	$k \rho c$ [(kW/m ² K) ² s]	$T_{vžiga}$ [°C]	\dot{Q}_k [kW/m ²]
iverka	0,93	412	18
asfaltna skodla	0,7	378	15
PS	0,38	630	46
polikarbonat	1,16	528	30
PMMA	1,02	378	15
preproga – volna	0,25	435	20
preproga - akril	0,42	300	10

Laboratorijska analiza



Stožčasti kalorimeter
za meritve
 \dot{Q}_k
in TRP

Vprašanja

Kateri podatki so pomembni za oceno vžiga plinov?
 Od katerih lastnosti tekočin je odvisen vžig tekočine?
 Od katerih lastnosti trdnih snovi je odvisen čas do vžiga trdne snovi?
 Kako izračunamo čas do vžiga za „debele“ in „tanke“ predmete?

(Naloge - izračun)
