

Gorenje in dinamika požarov

16.predavanje

Vsebina

Gorenje tekočin

Lastnosti tekočin pomembne za gorenje
Parni tlak tekočine

Posebni pojavi pri gorenju tekočin
Gorenje kapljic
Prekipevanje
Eksplozija par vrele tekočine in ognjena krogla
Eksplozija neomejenega oblaka hlapov

Količine nevarnih snovi (SLO, 1997)

<i>Razred nevarnosti</i>	<i>Količina (t)</i>	<i>%</i>
<i>vnetljive tekoče snovi</i>	272.439	84,0
<i>jedke snovi</i>	15.463	4,8
<i>druge nevarne snovi</i>	14.230	4,4
<i>strupi</i>	11.356	3,5
<i>vnetljive trdne snovi</i>	7.709	2,4
<i>stisnjeni, utekočinjeni in pod tlakom raztopljeni plini</i>	2.924	0,9
<i>eksplozivne snovi</i>	697	0,2
<i>oksidirajoče snovi</i>	182	0,06
Skupaj	325.000	100

Gorenje tekočih goriv

Tekočine gorijo, če

pri izhlapevanju tekočine in mešanju z zrakom nastane zmes par goriva in zraka v območju vnetljivosti.

Gorenje tekočin

Požari tekočin se razlikujejo glede na okoliščine

gorenje tekočine v odprti posodi ali razlite tekoč. ("pool fire")

gorenje iztekajoče tekočine (puščanje posode)

gorenje spray-a (majhne kapljice tekočine), nastane pri puščanju tekočine iz majhne odprtine pri visokem tlaku

tanka plast tekočine na nosilcu

utekočinjen plin v tlačni posodi (posebna nevarnost)

Lastnosti tekočin in gorenje

parni tlak

temperatura plamenišča

temperatura vžiga

temperatura samovžiga

SMV, ZMV

gostota hlapov

izparilna toplota

SMV, ZMV tekočih in plinastih goriv

Snov	SMV(vol%)	ZMV(vol%)	Snov	SMV(vol%)	ZMV(vol%)
acetan	2,5	13,0	n-heksan	1,2	7,4
acetilen	2,4	83	CO	12,5	74
etan	3,0	12,5	metan	5,0	15
bromoetan	6,7	11,3	metanol	5,5	26,5
etilen	2,7	34	ksilen	1,0	7,6
bencin	0,6	8,0	n-oktan	0,8	6,5
n-butan	1,5	8,5	n-pentan	1,4	7,8
HCN	5,4	46,6	propan	2,1	9,5
diesel	0,6	6,5	propanol	2,0	12
letalsko g.	0,6	7,5	toluol	1,2	7,0
očetna k.	4,0	17	vinilklorid	3,8	29,3
HCHO	7,0	73	vodik	4,0	75,6
n-heptan	1,1	6,7			

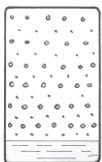
Izhlepevanje tekočih goriv

S površine tekočine izhajajo molekule - tekočina izhlapeva.

V zaprti posodi poteka izhlapevanje do ravnotežnega stanja.

Tlak par v prostoru nad tekočino je v ravnotežnem stanju enak tlaku nasičenosti P .

Tlak nad tekočim gorivom



o zrak
+ para

$$P_{zmes} = P_{zrak} + P_{para}$$

Parni tlak čiste tekočine

P_{par}° je odvisen od temperature

enačba Clapeyron-Clausius za čiste tekočine

$$\frac{d(\ln P_{\text{par}}^{\circ})}{dT} = \frac{U}{RT^2} \quad U - \text{izparilna toplota}$$

$$\log_{10} P_{\text{par}}^{\circ} = (-0,2186E/T) + F$$

P_{par}° [mmHg], T [K]; E, F konstanti značilni za posamezno tekočino

Parni tlak idealne raztopine

za tekočini A in B v idealni raztopini

$$P_A = X_A \cdot P_A^{\circ} \quad X_A - \text{množinski delež tekočine A v raztopini}$$

$$P_B = X_B \cdot P_B^{\circ}$$

Podatki za parni tlak tekočin

spojina	E	F	T [°C]
<i>n</i> -pentan	6595,1	7,4897	-77 do 191
<i>n</i> -heksan	7627,2	7,7171	-54 do 209
cikloheksan	77830,9	7,6621	-45 do 257
<i>n</i> -oktan	9221,0	7,8940	-14 do 281
<i>n</i> -dekan	10912,0	8,2481	17 do 173
metanol	8978,8	8,6398	-44 do 224
etanol	9673,9	8,8274	-31 do 242
acetan	7641,5	7,9040	-59 do 214
benzen	8146,5	7,8337	-37 do 290
toluen	8580,5	7,7194	-28 do 31
stiren	9634,7	7,9220	-7 do 145

Temperatura plamenišča

Temperatura plamenišča

je najnižja temperatura na katero mora biti snov segreta, da se izločeni hlapi ob prisotnosti plamena pod predpisanimi pogoji hipno vnamejo.

Enota - °C

Temperature plamenišča

Snov	Plam.(°C)	Snov	Plam.(°C)
acetan	-19	n-heksan	-22
bromoetan	<-20	n-heptan	-4
bencin	<-20	metanol	11
benzol	-11	ksilen	30
očetna k.	40	n-oktan	12
HCN	<-20	n-pentan	<-20
letalsko g.	-20 do +30	propanol	12
diesel	>55	toluol	6

Temperatura vžiga

Pri temperaturi plamenišča nastaja premalo hlapov za kontinuirno gorenje.

Za kontinuirno gorenje je potrebno segreti tekočino na **temperaturo vžiga**, ki je višja od temperature plamenišča.

Sproščanje toplote pri gorenju tekočin

$$\dot{Q} = \dot{m} \chi \Delta H_c \quad \dot{Q} = \dot{m}'' \chi \Delta H_c A \quad \dot{Q}'' = \dot{m}'' \chi \Delta H_c$$

hitrost sproščanja toplote \dot{Q} [kW] \dot{Q}'' [kW/m²]

masni tok \dot{m} [kg/s] \dot{m}'' kg/m² s

učinkovitost gorenja (0 - 1) χ

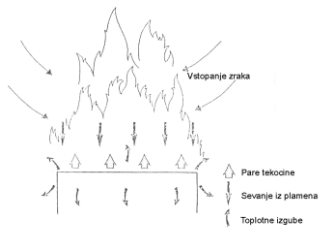
površina A m²

entalpija gorenja ΔH [kJ/kg]

Učinkovitost gorenja tekočin

Gorljiva snov	Učinkovitost
aceton	0,97
benzen	0,69
n-butan	0,95
etanol	0,97
bencin	0,92
heptan	0,92
heksan	0,92
metanol	0,95
transf. olje	0,84

Hitrost zgorevanja tekočin in trdnih snovi



Hitrost gorenja tekočin in trdnih snovi

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{Q}''_{pl} - \dot{Q}''_{iz}}{U}$$

\dot{m}'' - hitrost gorenja (g/m² s)

\dot{Q}''_{pl} - toplotni tok iz plamena na površino tekočine (kW/m²)

\dot{Q}''_{iz} - izgube toplote s površine tekočine v okolico (kW/m²)

U - izparilna toplota (kJ/g)

Hitrost gorenja tekočin

tekočina	\dot{m}'' kg/ m ² s
metanol	0,017
etanol	0,015
benzen	0,085
heksan	0,074
heptan	0,101
bencin	0,055
kerozin	0,039

Gorenje tekočih goriv

Hitrost zgorevanja lahko pri tekočinah izražamo kot hitrost zniževanja gladine.

$$\dot{h} = \frac{\dot{Q}''_{pl} - \dot{Q}''_{iz}}{\rho U}$$

\dot{h} - hitrost zniževanja gladine pri zgorevanju [m/s]
(podatki za prakso [mm/min])

ρ - gostota tekočine

Posebni pojavi pri gorenju tekočin

Gorenje kapljic

Prekipevanje

Eksplozija par vrele tekočine

Eksplozija neomejenega oblaka hlapov

Ognjena krogla

Gorenje kapljic

Kapljice vnetljive tekočine razpršene v zraku

- gorenje je zelo hitro

- vžig že pri $T < T_{vžig}$

SMV tekočih C_xH_y 45 do 50 g/m³

Gorenje kapljic

Hitrost izhajanja tekočine: [kg/s]

$$\dot{m} = C_D A \sqrt{2\rho(P - P_0)}$$

\dot{m} hitrost izhajanja ali masni tok

C_D koeficeient izhajanja ~0,61

A [m²]

ρ [kg/m³]

P [Pa] ali [kg/ m s²]

Gorenje kapljic

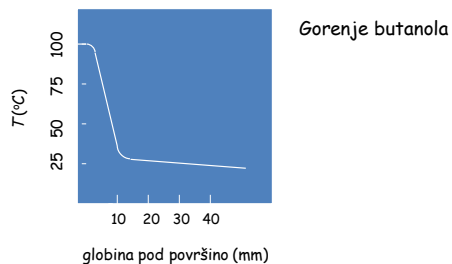
Način gorenja je odvisen od velikosti kapljic.

Zelo fine kapljice s premerom do $10\ \mu\text{m}$ v zraku uparijo v coni predgretja.

Pare z zrakom tvorijo vnetljivo zmes.

Gorenje s predhodno premešanim plamenom.

Temperatura v goreči tekočini



Prekipevanje tekočine - "boil over"

odprt rezervoar, ki vsebuje tekočine z različnimi vrelišči (npr. nafta) in je na dnu voda

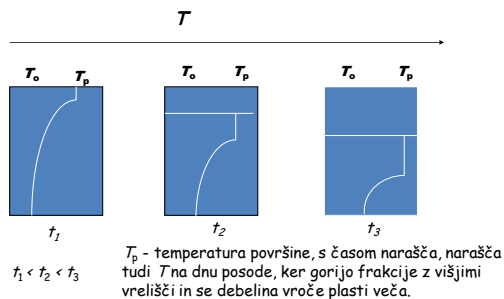
na površini goriyo lažje frakcije z nižjim vreliščem

težje frakcije z višjim vreliščem ne goriyo, segrete se spuščajo proti dnu

ko segreta tekočina doseže vodo na dnu, ta v hipu upari in potiska segreto tekočino iz rezervoarja

učinkuje kot izbruh vulkana

Širjenje vroče plasti v goreči tekočini



BLEVE

- BLEVE = Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion
= Eksplozija par vrele tekočine

Segrevanje zaprte posode z vnetljivo tekočino (predvsem utekočinjeni plini) - naraščanje tlaka.

Naraščanje tlaka - porušitev posode

Pri visokem tlaku se v trenutku sprosti veliko tekočine, ki vre in uparava.

Takojšnji vžig - nastanek ognjene krogle.

UVCE

Unconfined Vapour Cloud Explosion - UVCE
Eksplozija neomejenega oblaka hlapov/plina

zelo hitro širjenje plamena
nadtak in udarni val

pogoj za nastanek
velika količina plina (1-10 t), velika energija vira vžiga
in/ali turbulentno gorenje, "odložen" (ne takoj po izpustu goriva)

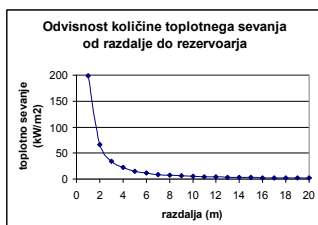
Vpliv nadtlaka na ljudi in opremo

Nadtlak (mbar)	Poškodbe	
	Na opremi	Na ljudeh
170 – 350	Težje poškodbe na zgradbah in procesni opreml	1% mrtvih zaradi puščob pljuč >50% poškodovanih bobničev >20% poškodb zaradi letelih delcev zgradb in opreme
70 – 170	Odravljive poškodbe na zgradbah, poškodbe na fasadah in ostrešju	1% poškodovanih bobničev 1% poškodb zaradi letelih delcev zgradb in opreme
35 – 70	Peščodovana olina	Poškodbe zaradi letelih drobcev stekla
10 – 35	10% oken je poškodovanih	Manjše poškodbe zaradi letelih drobcev stekla

Vpliv toplotnega toka na ljudi in opremo

Toplotni tok (kW/m ²)	Poškodbe	
	Na opremi	Na ljudeh
37,5	Poškodbe na procesni opreml	100% mrtvih v eni minuti 1% mrtvih v 10 sekundah
25	Minimalna toplotna energija za vžig lesa s toplotnim sevanjem	100% mrtvih v eni minuti večje poškodbe v 10 sekundah
12,5	Minimalna toplotna energija za vžig lesa s plamenom, plastične cevi se topijo	1% mrtvih v eni minuti opekline 1. stopnje po 10 sekundah
4		Povzroča bolečino, če je izpostavljenost daljša od 20 sekund
1,6		Ne vpliva na počutje po daljši izpostavljenosti

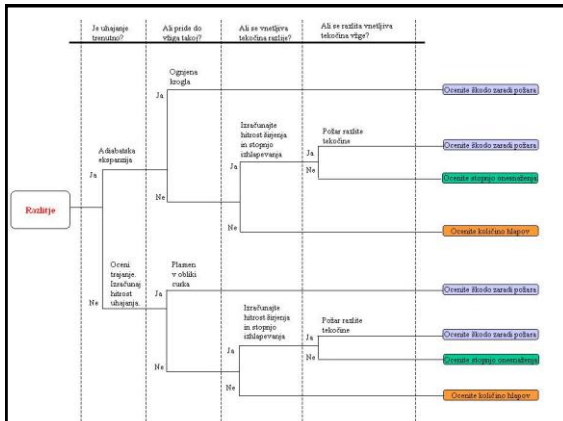
Odvisnost toplotnega sevanja od razdalje



Drevo dogodkov in gorenje tekočin

gorenje vnetljivih tekočin - ključna vprašanja

- Ali poteče izhajanje tekočine v trenutku?
- Ali pride do vžiga takoj?
- Ali pride do razlitja?
- Ali pride do naknadnega vžiga?



Vprašanja

Kateri pogoj mora biti izpolnjen za gorenje tekočin? Katere lastnosti tekočin so pomembne za gorenje?
 Kako je definiran tlak nasičenosti, P^* ?
 Kako sta definirani temperatura plamenišča in temperatura vžiga?

Katerim veličinam je sorazmerna hitrost sproščanja toplote pri gorenju tekočin? Kakšna je učinkovitost gorenja organskih tekočin snovi (acetan, metanol, bencin, heptan...)?

Kaj pove hitrost zniževanja gladine pri zgorevanju? Zakaj je gorenje kapljic tekočine dispergirane v zraku nevarnejše od gorenja razlite tekočine?

Razložite pojave:
 prekipevanje tekočine (boil over)
 BLEVE, UVCE
