

Dinamika požara v prostoru

21. predavanje

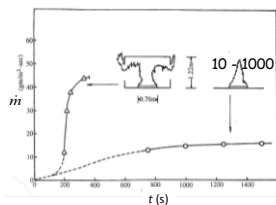
Vsebina

gorenje v prostoru in na prostem
dinamika gorenja v prostoru - faze, splošno

kvantitativno
 T pred požarnim preskokom
 \dot{Q}_{cr} za požarni preskok
polnorazviti požar in \dot{Q}

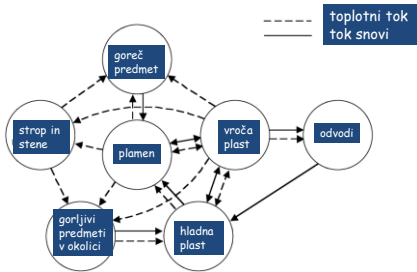
Eksplzija dimnih plinov

Gorenje v prostoru in na prostem



Hitrost gorenja PMMA
(ploščica 0,76 x 0,76 m)
na prostem in v prostoru.

Prenos toplote in snovi med gorenjem v prostoru

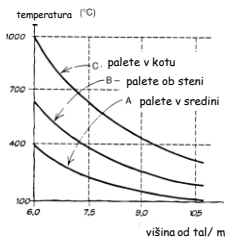


Kaj vpliva na razvoj požara?

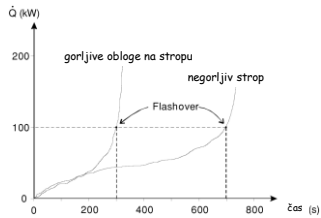
Pomembne so posebnosti prostora in goriva.

- energija in položaj vira vžiga
- gorivo (vrsta, količina, razporeditev, orientacija, površina)
- geometrija prostora
- velikost in lokacija odprtín
- lastnosti (material) stropa, sten in tal
(toplotna vztrajnost, opeka, beton, bolje prevajajo toploto od izolacijskih materialov - T vročih plinov pod stropom je nižja).

Položaj goreče snovi v prostoru in T v vzgonskem toku



Vpliv gorljivega stropa

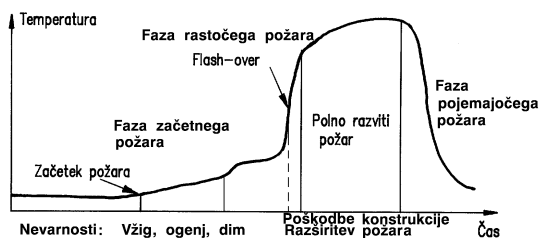


Razvoj požara

Pri preučevanju začetka in širjenja požara v prostoru se oceni:

- hitrost sproščanja toplote,
- količina dima,
- količina CO ter ostalih strupenih plinov,
- višina plamena,
- temperatura v prostoru,
- čas do požarnega preskoka.

Dinamika požarov v prostoru



Dinamika požarov v prostoru

Prostor začetka požara je omejen s predelnimi stenami, stropi, vrati, okni itd. določene požarne odpornosti. V prostoru začetka požara so značilne razvojne stopnje požara :

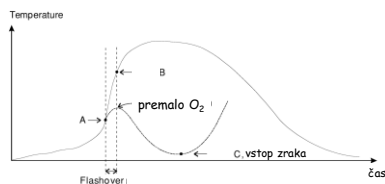
- vžig,
- pred požarnim preskokom (začetni in rastoči požar),
- požarni preskok,
- polno razviti požar, ko gori vse gorljive snovi v sobi,
- faza upadanja požara.

Faza začetnega požara

Hitrost razvoja požara je na začetku odvisna od lastnosti gorljivih materialov (kemijske, fizikalne, oblika...).

Z razvojem in širjenjem požara zaradi sproščene toplote temperatura v prostoru raste.

Faza začetnega požara



Po vžigu se

požar razvija in raste ali

gorljiva snov pogori in ogenj ugasne ali

ogenj ugasne zaradi nezadostnih pogojev za gorenje.

Faza začetnega požara

Gorenje v začetnem požaru lahko poteka s plamenom ali brez (dim).

V začetnem požaru gori lahko eden ali več predmetov.

Razvoj začetnega požara je podoben na prostem in v prostoru, ker je v tej fazi

malo sevanja iz vroče plasti dima pod stropom in še dovolj zraka za popolno gorenje.

Faza začetnega požara - dim

Požar se razvija počasi, ob gorenju ni plamena, količina sproščene toplote je nizka.

Prostor zapolni dim in ob nepopolnem zgorevanju tudi gorljivi plini.

Toplotni vzgon je zaradi majhne količine toplote majhen, gibanje delcev dima in nezgorelih plinov je odvisno le od pretoka zraka v okolju.

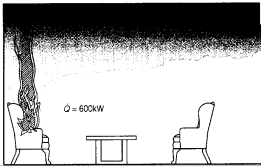
Faza začetnega požara - plamen

Hitrejši razvoj požara.

Ocena razvoja te vrste požara temelji predvsem na standardnih požarnih krivuljah za posamezne vrste gorljivih snovi.

Faza rastočega požara

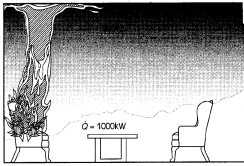
V fazi rastočega požara hitro naraščajo:
 količina gorečih snovi,
 količina sproščene toplote,
 debelina plasti dima pod stropom,
 T v prostoru, (v prostoru sta vroča in hladna plast),
 T zraka oz. dimnih plinov pod stropom (narašča do 600°C, ko se začne
 intenzivno toplotno sevanje te vroče plasti plina).



0,01 do 0,3 vol% CO
 $\phi \approx 0,1$

Požarni preskok

V zelo kratkem času se vžgejo še vse negoreče snovi
 v prostoru, plameni zajamejo ves prostor, požar preide
 v **polno razviti požar**.
 Prehod se imenuje požarni preskok - "flash-over".



0,03 do 3 vol% CO
 $\phi \approx 0,33$

Požarni preskok

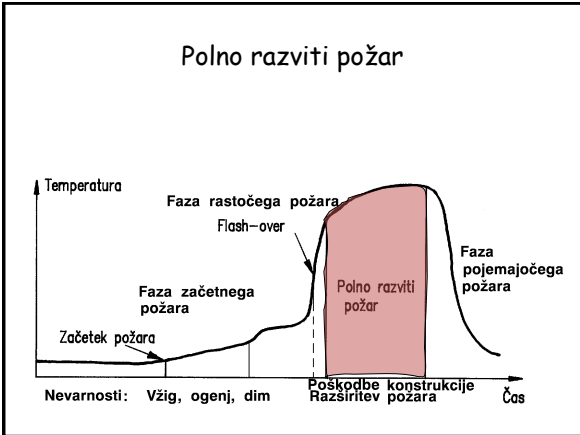
Temperatura v zgornji plasti je ob požarnem preskoku 500 - 600°C in
 toplotno sevanje plamenov pod stropom na tla je približno 20 kW/m²

Stefan - Boltzmanov zakon:

$$\dot{q}'' = \sigma T^4$$

$$\dot{q}'' = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4 \cdot (773 \text{ K})^4$$

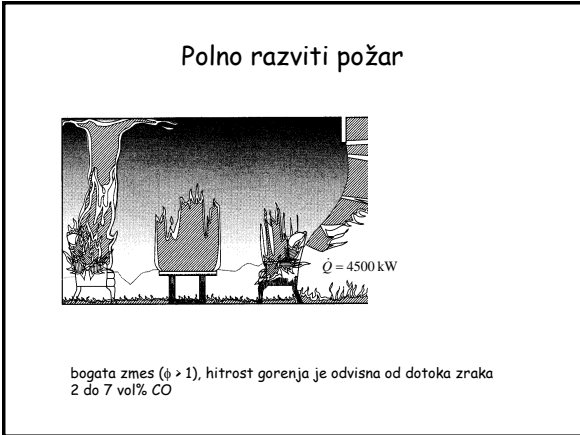
$$\dot{q}'' = 20,2 \text{ kW / m}^2$$



Značilnosti polno razvitega požara

V fazi polno razvitega požara:

- so v požar zajeti vsi gorljivi materiali v prostoru,
- temperatura je 800 - 1000°C in ne narašča,
- hitrost sproščanja toplote je največja,
- visoki toplotni tokovi (~150 kW/m²) lahko poškodujejo konstrukcijo,
- na hitrost gorenja v prostoru vplivajo dotok zraka (ventilacija), geometrija prostora in lastnosti obodne strukture prostora,
- plameni silijo skozi okna in vrata,
- koncentracija O₂ je nizka,
- visoke so koncentracije produktov nepopolnega gorenja, npr. CO



Polno razviti požar

T in \dot{Q} zelo visoka - nemogoče pogasiti.
Nujno preprečiti prenos požara na sosednje prostore ali objekte (hlajenje zapornih konstrukcijskih gradbenih elementov).

Požar se lahko razširi, ker popustijo zaporni elementi kot so npr: okna, vrata, stene, strop.

Evakuacija in gašenje nemogoča;
zelo velika materialna škoda.

Polno razviti požar

Jakost in čas trajanja požara polno razvitega požara sta odvisna od:

prezračevanja oz. dovoda zraka,
odvajanje toplote iz prostora,
požarnih lastnosti gorljivih materialov,
požarne obremenitve.

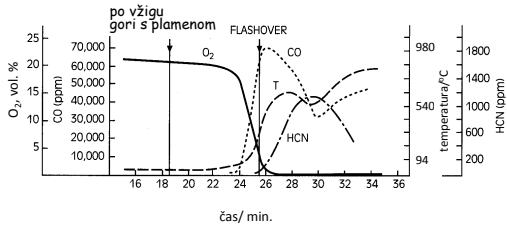
Faza pojemajočega požara

Pojemanja požara povzročijo
pomanjkanje gorljivega materiala ali
pomanjkanje kisika.

Preizkusi kažejo, da ostane hitrost sproščanja
toplote konstantna, dokler ne pogori 80% gorljivih
snovi v prostoru.

Razvoj požara v prostoru

Soba, $3,7 \times 5,5 \times 2,44$ m, z vrati,
podatki na višini 1,68 m.



Temperatura v prostoru nastanka požara pred požarnim preskokom

Ocena T je pomembna zaradi:

- varnosti ljudi
- ocene masnega toka skozi odprtine
- toplotnega sevanja na gorivo in predmetov v okolici
- odkrivanja požara in delovanja sprinklerskih sistemov
- izračuna požarne odpornosti gradbenih elementov
- izračuna varnih odmikov

Temperatura v prostoru nastanka požara pred požarnim preskokom

Metode po modelu plaja,
dve plasti, t.i. hladna spodnja plast in vroča zgornja plast.

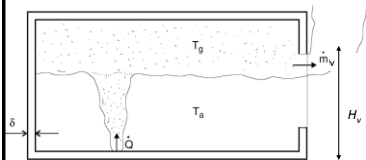
Predpostavke

- zraka je dovolj za popolno gorenje (revna zmes)
- enakomerna T , P v celotni plasti.

Izračun T po eksperimentalnih podatkih za prostore:
Višina prostora: $h = 0,3\text{m} - 2,7\text{m}$, površina = $0,14 - 12\text{m}^2$.

Model ne velja za dolge, ozke prostore, jaške, hodnike.

Model polja z vročo in mrzlo plastjo



- δ - debelina stene
- ρ - gostota stene
- c - specifična toplota
- k - koeficient prevodnosti

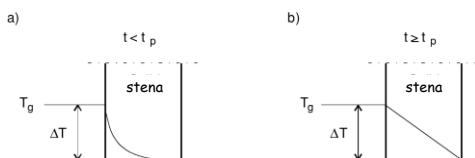
Temperatura v prostoru nastanka požara pred požarnim preskokom

$$\Delta T_c = 6,85 \left(\frac{\dot{Q}^2}{A_v H_v^{1/2} h_k A_T} \right)^{1/3}$$

Konstanta 6,85 velja pri $T_a = 22^\circ\text{C}$.

- ΔT_c = porast temperature v vroči plasti [$^\circ\text{C}$] (povprečje)
- \dot{Q} = hitrost sproščanja toplote v požaru [kW]
- A_v = površina odprtin za dovod in odvod zraka [m^2]
- A_T = celotna površina prostora (tla, stene, strop), brez odprtin [m^2]
- H_v = višina odprtine za dovod in odvod zraka [m]
- h_k = koeficient toplotne prestopnosti [$\text{kW}/\text{m}^2\text{K}$] (odvisen od časa izpostavljenosti)

Temperaturna razporeditev v steni



V začetku gorenje stene toploto zadržujejo, po določenem času postanejo toplotne izgube zaradi prevajanja večje.
 t_p - čas toplotne penetracije; to je čas, ko se T na zunanji strani poveča za $15\% \Delta T$

$$t_p = \left(\frac{l^2}{4\alpha} \right) = \frac{l^2 \rho c}{4k} \quad l - \text{debelina stene} \quad [\text{m}]$$

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

Koeficient toplotne prestopnosti - h_k na začetku gorenja $t < t_p$

h_k je odvisen od časa izpostavljenosti.
če je t_p - čas toplotne penetracije skozi stene, tla in strop prostora večji od časa izpostavljenosti požaru t velja:

$$h_k = \left(\frac{k_s \rho c_p}{t} \right)^{1/2}$$

k_s = toplotna prevodnost [kW/m K]
 ρ = gostota sten, tal ali stropa [kg/m³]
 c_p = specifična toplota sten, tal ali stropa [kJ/kg K]
 t = čas požara

Koeficient toplotne prestopnosti - h_k $t > t_p$

Pri daljšem gorenju ali v prostorih s tankimi stenami je čas prehoda toplote t_p skozi stene, tla in strop prostora veliko manjši od časa izpostavljenosti požaru t .

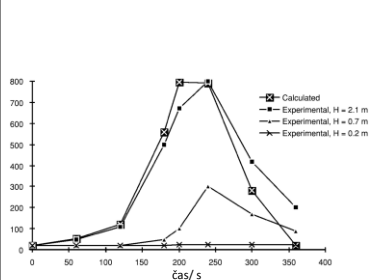
$$h_k = \frac{k_s}{l}$$

l = debelina sten, tal ali stropa (m)
 k_s = toplotna prevodnost sten

Podatki za izračun h_k

	$k\rho c$ (kW ² ·s/m ⁴ ·°C ²)	k (kW/m·°C)
izolacijska plošča	0,09	0,000041
les	0,30	0,00015
gipsna plošča	0,60	0,0005
beton	2,0	0,001
jeklo	150	0,05

Izmerjene in izračunane T



T izmerjene v istem poskusu na različnih višinah v prostoru.

$$\Delta T_c = 6,85 \left(\frac{\dot{Q}^2}{A_v H_v^{1/2} h_k A_T} \right)^{1/3}$$

Enačba je uporabna če:

poznamo \dot{Q}^2 .
 T od 20 - 600°C (glede na sliko še višja T),
 manjši prostori, toplotne izgube zaradi masnega toka skozi odprtine,
 vir ognja ni ob steni,
 gorenje kontrolira gorivo

Požarni preskok

$$\Delta T_c = 6,85 \left(\frac{\dot{Q}^2}{A_v H_v^{1/2} h_k A_T} \right)^{1/3} \quad T \text{ vroče plasti pred požarnim preskokom}$$

Požarni preskok nastopi, ko je T vroče plasti pod stropom 500°C.

Do požarnega preskoka pride, ko je dosežena \dot{Q}_{FO} .

$$\dot{Q}_{FO} = 610 (h_k A_T A_v H_v^{1/2})^{1/2}$$

Za požarni preskok je potrebna \dot{Q}_{FO}

\dot{Q}_{FO} za dosego požarnega preskoka po eksperimentalni enačbi:

$$\dot{Q}_{FO} = 610 (h_k A_T A_v H_v^{1/2})^{1/2}$$

\dot{Q}_{FO} = hitrost sproščanja toplote v požaru, ki povzroči požarni preskok [kW]

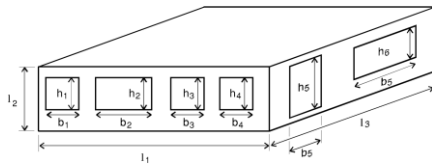
A_T = površina prostora (brez odprtin) [m²]

A_v = površina odprtin za dovod in odvod zraka [m²]

H_v = višina odprtine za dovod in odvod zraka [m]

h_k = koeficient toplotne prestopnosti [kW/m² K]

Dotok zraka v prostoru z več odprtinami



$$A_o = A_1 + A_2 + \dots + A_6 = b_1 h_1 + b_2 h_2 + \dots + b_6 h_6$$

$$H_o = (A_1 h_1 + A_2 h_2 + \dots + A_6 h_6) / A_o$$

Polno razviti požar

Gorenje je enakomerno. Za popolno gorenje velja:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot \Delta H_c$$

\dot{Q} = količina toplotne energije, ki se sprosti pri gorenju [kW]

\dot{m} = hitrost gorenja (masna izguba) [kg/s]

ΔH_c = entalpija zgorevanja [J/kg]

Polno razviti požar

Dotok zraka v prostor je odvisen od A_v in $H_v^{1/2}$

$$\dot{m}_a = 0,5 A_v \cdot H_v^{1/2}$$

\dot{m}_a = masni tok zraka v prostor [kg/s]

A_v = površina odprtin za dovod in odvod zraka [m²]

H_v = višina odprtine za dovod in odvod zraka [m]

Polno razviti požar - če gorenje kontrolira dotok zraka

$$\dot{Q}_{\max} = \dot{m}_{O_2} \cdot \Delta H_{c/kgO_2} = \dot{m}_a \cdot 0,23 \cdot 13,2 = 0,5 \cdot A_v \cdot H_v^{1/2} \cdot 0,23 \cdot 13,2$$

$$\dot{Q}_{\max} = 1,518 \cdot A_v \cdot H_v^{1/2} = \dot{m}_{gorivo} \cdot \Delta H_{c/kg\ goriva}$$

Če se porabi 1 kg O_2 , se sprosti 13,2 MJ toplote.

Za gorenje lesa ($\Delta H = 17$ MJ/kg) velja:

$$\dot{m} = k \cdot A_v \cdot H_v^{1/2}$$

\dot{m} = hitrost gorenja (masna izguba) [kg/s]
 A_v = površina odprtih za dovod in odvod zraka [m²]
 H_v = višina odprtine za dovod in odvod zraka [m]
 k = konstanta: 0,09 kg/m^{5/2} s

Vprašanja

Razložite dinamiko požara v prostoru (krivulja požara, značilnosti posamezne faze, pogoji za prehod iz ene faze v drugo.)
 Navedite bistvene razlike med potekom gorenja na prostem in v prostoru.
 Kdaj nastopi požarni preskok, kako se manifestira?
 Opišite značilnosti in posledice polno razvitega požara.
 Kako izračunamo temperaturo vroče plasti v prostoru pred požarnim preskokom? Katere omejitve veljajo za enačbo?
 Kako izračunamo hitrost sproščanja toplote, ki v določenem okolju povzroči požarni preskok?
 Kako izračunamo hitrost sproščanja toplote v polno razvitem požaru, ko je hitrost gorenja odvisna od dotoka zraka v prostor?
