

4 predavanje

1.) Razložite razliko med toploto dovedeno pri $V=\text{konst.}$ in entalpijo.

Toplota dovedena pri $V=\text{konst.}$ je $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ in je enaka notranji energiji.

Entalpija je toplota ki je sistemu dovedemo pri konstantnem tlaku in se porabi za: povečanje notranje energije in opravljanje dela proti zunanji sili.

2.) Razložite razliko med entalpijo in prosto entalpijo.

Entalpija je toplota, ki jo sistemu dovedemo pri konstantnem tlaku in se porabi za: povečanje notranje energije in opravljanje dela proti zunanji sili.

Prosta entalpija ΔG pa je uporabno merilo za oceno smeri nekega procesa in se izraža kot $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

3.) Kako sta definirani spodnja (kurilnost) in zgornja specifična toplota zgorevanja?

Spodnja specifična toplota zgorevanja = kurilnost

→ Toplota, ki se sprosti pri gorenju, ko nastane H_2O (g)

Zgornja specifična toplota zgorevanja

→ Toplota, ki se sprosti pri gorenju, ko nastane H_2O (l)

**Kurilnost = zgornja toplota izgorevanja – izparilna toplota vode

4.) Kako se spreminja entropija med gorenjem ogljikovodikov?

Med gorenjem ogljikovodikov se nered povečuje (entropija-stopnja nerada) $\Delta S > 0$

Pri gorenju C_xH_y se število molekul poveča: $2\text{C}_2\text{H}_6$ (g) + 7O_2 (g) → 4CO_2 (g) + $6\text{H}_2\text{O}$ (g)
9 molov 10 molov

Nered in entropija naraščata:

- s številom delcev
- s temperaturo, ker se pri višji T gradniki gibljejo hitreje
- če nastane iz trdne tekoča oz. iz tekoče plinasta snov
- če pri plinski reakciji nastane več molekul

** Entropija idealnega kristala katerekoli snovi pri 0 K je nič !!

5.) Kako je definirana prosta entalpija, kaj lahko sklepamo iz njene vrednosti?

...uporabno merilo za oceno smeri nekega proces

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$\Delta G < 0$ proces poteka spontano

$\Delta G > 0$ spontano poteka obratni proces

$\Delta G = 0$ ravnotežno stanje

** ΔG gibbsova prosta energija

6.) Kako izračunamo specifično požarno obremenitev P_i ?

..je zelo poenostavljeno merilo za trajanje in intenziteto požara

- gostota [kg/m^3]
- prostornina [m^3]
- H [kJ/kg]
- P_i [kJ/m^2]

$$P_i = \frac{\sum \rho_i \cdot V_i \cdot H_i}{S}$$

To je računski vrednost toplotne energije na površinsko enoto, ki bi se sprostila, ob popolnem sežigu vseh gorljivih snovi v objektu.

7.) Kako lahko uporabimo temperaturo plamena?

Temperaturo plamena potrebujemo za izračun:

- hitrosti gorenja
- hitrosti širjenja plamena
- vžiga gorljivih snovi v okolici
- oceno SMV
- škode na izpostavljenih stvareh
- odziva termičnih javljalnikov požara
- odziva avtomatskih sprinklerskih sistemov

5 predavanje

1.) Kako je definirana hitrost gorenja in hitrost sproščanja toplote? Zapišite in razložite splošni enačbi.

Hitrost gorenja je večja pri višji koncentraciji kisika, če je večja površina goriva v stiku s kisikom. Podaja se pa kot hitrost odgorevanja.

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

...odvisno od lastnosti snovi in pogojev v okolju

\dot{m}'' ...hitrost gorenja (g/m^2s)

\dot{Q}_{pl}''

...toplotni tok iz plamena na površino tekočine (kW/m^2)

\dot{Q}_{iz}''

...izgube toplote s površine tekočine v okolico (kW/m^2)

U ...uparjalna toplota (kJ/g)

$$\dot{Q} = \chi \cdot \dot{m}'' \cdot A_g \cdot \Delta H_r$$

\dot{Q}

...hitrost sproščanja toplote ali toplotni tok (kJ/s ali kW)

\dot{m}'' ...hitrost gorenja (g/m^2s)

χ

...faktor izgorevanja; 0-1; popolno izgorevanje: 1

A_g ... površina (m^2)

ΔH_r ...entalpija reakcije, ki poteka pri gorenju (kJ/g)

2.) Zakaj je hitrost sproščanja toplote zelo pomembna veličina?

Ker pove kako se požar razvije.

\dot{Q}

Hitrost sproščanja toplote – najpomembnejše merilo za potek gorenja, ker kaže na posledice v okolju. Podatek rabimo pri izračunih v inženirskih metodah za oceno:

- višine plamena
- verjetnosti požarnega preskoka v prostoru
- maksimalnih temperatur v prostoru
- oceno posledic požara

3.) Katera enačba se uporablja pri preskusih materialov?

...raziskave in preskušanje materialov, merjenje volumskega pretoka kiska v odvodu

$$\dot{Q} = (0,21 - x_{O_2}) \cdot \dot{V} \cdot 10^3 \cdot \rho_{O_2} \cdot \Delta H_{r/O_2}$$

\dot{Q} ... hitrost sproščanja toplote ali toplotni tok (kJ/s ali kW)

\dot{V} ...volumski pretok zraka (m^3/s)

ρ_{O_2} ...gostota O_2 pri normalnem tlaku in temperaturi (kg/m^3)

x_{O_2} ...množinski delež O_2 v čistem plinu

$\Delta H_{r/O_2}$...12,7 – 13,0 kJ/g O_2 , ki se porabi pri gorenju (kJ/g)

4.) **Kaj vpliva na hitrost gorenja razlite tekočine, zapišite in pojasnite enačbo.**

Premer razliva, sestava – vrsta tekočine

Gorenje razlite tekočine – "pool fire"

- ➔ Razlita tekočina predstavlja veliko nevarnost za požar
- ➔ Nekatere tekočine so lahko hlapne, z zrakom tvorijo vnetljive zmesi, lahko pride do eksplozije
- ➔ Nekatere tekočine imajo visoko plamenišče, a po vžigu se plamen zelo hitro razširi po površini tekočine
- ➔ Hitrost gorenja doseže konstantno vrednost, ki je odvisna od premera razlite tekočine in dve empirični konstanti

$$\dot{m}'' = \dot{m}_{\infty}'' (1 - e^{-k\beta D})$$

\dot{m}'' ...hitrost prostega gorenja (g/m^2s)

\dot{m}_{∞}'' ...hitrost gorenja pri asimptotičnem D (g/m^2s)

$k\beta$...empirični konstanti, v tem primeru je pomemben njun produkt (m^{-1})

\dot{m}_{∞}'' in $k\beta$ sta odvisni od vrste tekočine

5.) **Kdaj govorimo o časovno odvisnem požaru? Kako lahko izračunamo hitrost sproščanja toplote v tem primeru?**

O časovno odvisnem požaru govorimo, kadar je hitrost sproščanja odvisna od časa.

Požari, ki nastanejo v relativno majhnem prostoru in se hitro razvijajo. Ni primeren za velike industrijske objekte, kjer vroči plini dosežejo strop kasneje kot v 10 s.

- ➔ Hitrost sproščanja toplote je odvisna od časa
- ➔ Požari, ki nastanejo v relativno majhnem prostoru in se hitro razvijajo
- ➔ Ni primerno za velike industrijske objekte, kjer vroči plini dosežejo strop kasneje kot v 10 sekundah

Stopnja rasti požara	α [kW/s^2]	t [s] do $\dot{Q} = 1055kW$	
Počasno	0,0029	600	tesno naložen papir
Srednje	0,012	300	klasične vzmetnice, naslanjači
Hitro	0,047	150	PU vzmetnice, PE palete (1 m)
Izredno hitro	0,188	75	visokoregalna skladišča

6 predavanje

1.) Po katerih mehanizmih poteka prenos toplote? V kateri fazi požara so pomembni posamezni mehanizmi?

Prenos toplote, ki je tok energije zaradi temperaturne razlike poteka s:

- prevajanjem (kondukcijo) (skozi trdno steno)
- prestopom (konvekcijo) (poteka z mešanjem)
- sevanjem (radiacija) (prenos toplote z elektromagnetnim valovanjem)

Prevajanje je v fazi požara pomembno v fazi vžiga, širjenje plamena po trdni snovi.

Konvekcija je v vseh fazah pomembna, prevladuje v začetni fazi požara, ko je sevanje zanemarljivo.

Sevanje je v razvitem požaru pri visokih temperaturah (nad 400°C)

- Prevajanje (kondukcija) = prenos toplote skozi trdno snov; faza vžiga, širjenje plamena v trdni fazi.
- Prestop (konvekcija) = poteka z mešanjem snovi; vse faze požara, prevladuje v začetni fazi, ko je sevanje zanemarljivo.
- Sevanje (radiacija) = prenos toplote z elektromagnetnim valovanjem; razviti požar, pri visokih temperaturah ($T > 400 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Za okolico bolj problematična: sevanje ali konvekcija? Odg. : sevanje, ker stena vso sevano toploto sprejem, pri konvekciji pa le del toplote.

2.) Kako vpliva sevanje za razvoj požara?

Vpliva na:

- hitrost požara (sevanje goriva je predvsem posledica segrevanja)
- širjenje plamena (vžig oddaljenih predmetov)
- potek gašenja (prepreči dostop gasilcem)

3.) Za katere snovi je značilna zelo visoka oziroma zelo nizka toplotna prevodnost?

Visoka toplotna prevodnost: jeklo, aluminij, baker

Nizka toplotna prevodnost: polistiren, poliuretanska pena, polipropen

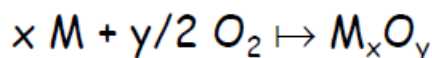
4.) Kaj je sevanje, katere snovi omogočajo sevanje v požaru?

Sevanje je prenos toplote z elektromagnetnim valovanjem v območju vidnega in IR dela spektra (0,4 - 100 μm). Sevajo saje, CO₂, H₂O

7 predavanje

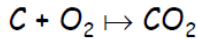
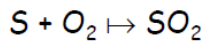
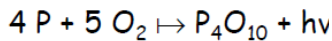
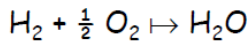
1.) Kaj so produkti gorenja kovin, nekovin (S,P) in organskih snovi?

Kovine - oksidi

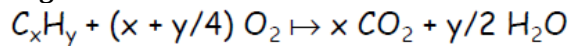


pri izbiri detektorjev gorenja moramo upoštevati, da NE nastajajo CO₂, CO, H₂O

Nekovine



Organske snovi – CO₂ in voda

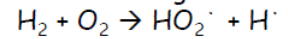


če je razpoložljiva količina O₂

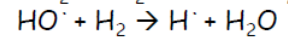
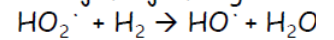
$n(O_2) > (x + y/4)$ prebitek kisika revna mešanica

$n(O_2) < (x + y/4)$ prebitek goriva bogata mešanica
produkti gorenja so: CO₂, CO, H₂, H₂O, C, C_xH_y

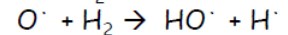
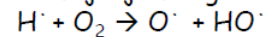
začetek verige



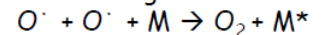
nadaljevanje verige



razvejanje verige

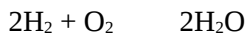


konec verige



2.) Razložite mehanizem gorenja vodika in metana v plinasti fazi.

Vodik



Dejansko potekajo reakcije med radikali, prostimi atomi in molekulami

Od poteka reakcije je odvisno, če zmer gori ali eksplodira

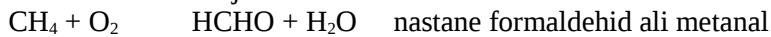
Pomembno je odvajanje sproščene toplote in potek radikalskih reakcij

Metan

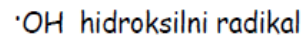
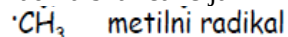


Popolno gorenje – začetno in končno stanje

Predstavitev reakcije v dveh korakih:



Oksidacija poteka kot verižna radikalska reakcija



Napomembnejša radikala sta:

Kateri so najpomembnejši intermedii (vmesni produkti)?

Metalan in CO

Razložite pomen prostih vodikovih atomov za potek gorenja.

Zakaj lahko nastane pri gorenju metana CO in metanal ljub zadostni količini kisika?

3.) Kaj so retardanti (zaviralci gorenja)? Kako delujejo? Kako jih delimo glede na sestavo?

Retardanti ali zaviralci ognja so snovi, ki zmanjšajo gorljivost snovi ali upočasnijo razvoj požara. To so spojine ki vsebujejo fosfor, halogene, anorganske spojine, bor oz. borati

Več mehanizmov delovanja:

- ohlajanje snovi zaradi endotermnega razpada retardanta
- nastanek zaščitne plasti (pooglenitev), ki oteži vžig, zmanjša se sproščanje vnetljivih plinov med termičnim razpadom in prenos toplote iz plamena na gorljivo snov
- nastanek atomov halogena (predvsem Br), ki reagirajo z reaktivnimi radikali znisa se koncentracija $^\cdot OH$, $^\cdot H$
- razredčenje radikalov v plamenu zaradi sproščanja H₂O in CO₂

Največkrat gre za kombinirano delovanje.

Glede na sestavo:

- bormirani zaviralci ognja
- zaviralci gorenja s fosforjem
- anorganski zaviralci gorenja

8 predavanje

1.) **kako je definirana ravnotežna konstanta K_p za splošno reakcijo? Od česa je K_p odvisen?**

Za splošno obojesmerno, homogeno reakcijo

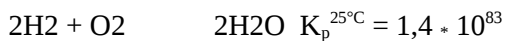


$$K_p = \frac{(P_C)^c \cdot (P_D)^d}{(P_A)^a \cdot (P_B)^b}$$

$P_c \dots$ parcialni tlak plina C

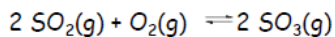
$K_p = f(T)$ je brez enote

- S temperaturo se konstanta povečuje
- K_p visoka – v sistemu prevladujejo produkti
- K_p nizka – v sistemu prevladujejo reaktanti



2.) **Kako vpliva na ravnotežje zunanja sprememba (množina snovi, tlak, prostornina, temperatura)?**

Vpliv množine snovi na kemijsko ravnotežje
sprememba množine reaktantov ali produktov



$$K_p \text{ se ne spremeni!!} \quad K_p = \frac{(P_{SO_3})^2}{(P_{SO_2})^2 \cdot (P_{O_2})}$$

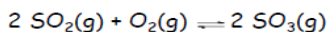
povečanje ene koncentracije - spremembe vseh koncentracij in potek reakcije v določeno smer, da se ponovno vzpostavi ravnotežje

povečanje n (reaktantov) - nastane več produktov

povečanje n (produktov) - produkti razpadejo, n (reaktantov) se poveča

zmanjšanje n (produktov) - zmanjšanje n (reaktantov) - zreagirajo

Vpliv tlaka na kemijsko ravnotežje
sprememba tlaka ali prostornine



$$K_p \text{ se ne spremeni!!} \quad K_p = \frac{(P_{SO_3})^2}{(P_{SO_2})^2 \cdot (P_{O_2})}$$

povečanje tlaka (zmanjšanje prostornine) - več produktov

zmanjšanje tlaka (povečanje prostornine) - več reaktantov

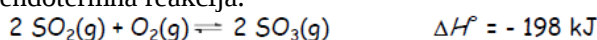
Vpliv prostornine na kemijsko ravnotežje

Če se prostornina ravnotežne zmesi zmanjša, reakcija poteče v smer nastanka manjše množine plinov.

Če se prostornina ravnotežne zmesi poveča, reakcija poteče v smer nastanka večje množine plinov.

Vpliv temperature na kemijsko ravnotežje

Ob zvišanju temperature bo potekla tista reakcija, pri kateri se dovedena toplota porabi, tj. endotermna reakcija.

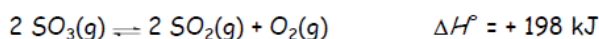


K_p se spremeni!!

$$K_p = \frac{(P_{\text{SO}_3})^2}{(P_{\text{SO}_2})^2 \cdot (P_{\text{O}_2})}$$

eksotermna reakcija poteče, če se T zniža

povišanje T - poteče endotermna reakcija:

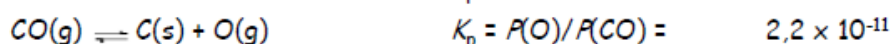
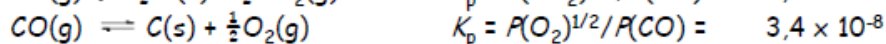
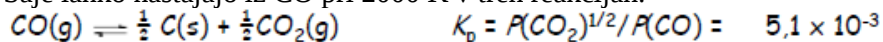


3.) Katere ravnotežne reakcije so pomembne pri višjih temperaturah v plamenu?

4.) Kaj so saje? Pri katerih pogojih nastajajo? Kako nastanek saj vpliva na gorenje in temperaturo plamena?

- če gori vodik, saj ni !!!
- ogljik se do 4000 K ne tali – saje so trdni delci C(s) oz. $(\text{C}_8\text{H})_n$
- nastajajo predvsem v difuzijskem plamenu, manj v predhodno premešanem
- več saj, več sevanja plamena, saje vplivajo na Q'
(80% sevanja toplote zaradi saj, 20% vroči plini (CO_2 , H_2O))
- več saj, nižja T plamena
- saje so glavni vir dima
- rumena barva plamena zaradi sevanja saj (delcev ogljika)

Saje lahko nastajajo iz CO pri 2000 K v treh reakcijah:



- ravnotežja so pomaknjena proti CO, v ravnotežni reakciji nastane zelo malo C(s)
- največ saj nastane po prvi reakciji
- v prisotnosti CO_2 , O_2 (produkti), se ravnotežje pomakne proti CO

$$\frac{n(\text{C})}{n(\text{O})} < 1 \text{ prevladuje CO}$$

V sistemu z malo ali nič kisika je količina saj odvisna od $P(\text{H}_2)$



C_2H_2 razpade, nastane vodik in saje, ko je sistem v ravnotežju, se saje ne tvorijo več !!!
 Če je $P(H_2) > 13,9P(C_2H_2)$ se saje ne tvorijo, nastaja acetilen

5.) **Razložite povezavo med dobitki CO_2 , CO in saj (Y_{CO_2} , Y_{CO} in Y_s) ter učinkovitost gorenja. Razložite povezavo med vidljivostjo in Y_s .**

Nastanek CO in CO_2

vsaj 2/3 žrtev v požaru umre zaradi dima
 največkrat je vzrok zastrupitev s CO
 zelo pomembno je, da ocenimo koliko CO nastane pri gorenju
 več CO nastane pri nepopolnem gorenju (bogata mešanica)

Izračunamo lahko dobitke produktov gorenja, y

$$y_i = \frac{m_i}{m_f} \quad m_i = \text{masa produkta } i; \quad m_f \text{ je masa plinastega goriva}$$

Teoretični največji dobitek

Y_{max,CO_2} ves ogljik se pretvori v CO_2 (realno v revni mešanici)
 $Y_{max,CO}$ ves ogljik se pretvori v CO (nerealistično, a uporabno pri izračunu koncentracij)

Dobitek produktov gorenja, y je odvisen od količine razpoložljivega kisika.

Revna mešanica

$Y_{CO_2} \approx Y_{max,CO_2}$ konstantno, učinkovitost gorenja ni 100%! ($Y_{CO_2} / Y_{max,CO_2} < 1$)

Bogata mešanica - odvisno od razmerja gorivo - kisik

$Y_{CO_2} < Y_{max,CO_2}$

Od količine saj, ki med gorenjem nastanejo, je odvisna vidljivost, ki je obratnosorazmerna z D_m

$$D_m = \alpha y_s$$

D_m optična masna gostota [m²/g]
 α optična gostota delcev aerosola [m²/g]
 (ni konstantno $\alpha = f(y_s)$)
 1,9 m²/g - gorenje brez plamena; 3,3 m²/g gorenje s plamenom
 y_s dobitke saj

10 predavanje

1.) **Kako se posamezni coni predhodno premešanega plamena spreminjata temperatura in koncentracija reaktantov in ogljikovega oksida (CO)?**

Cona predgretja

Temperatura vnetljive zmesi se od začetne temperature (T_0) dvigne do temperature vžiga (T_v).
 Temperatura vžiga je temperatura pri kateri se zmes vneme in je značilna za posamezni gorljiv plin.

Reakcijska cona

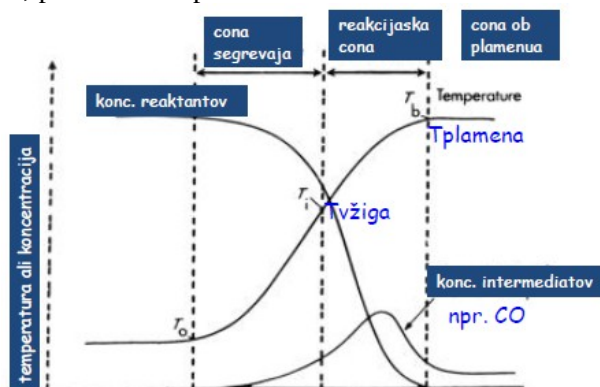
Temperatura naraste od $T_{vžiga}$ do končne temperature plamena (T_p). V tej coni poteka večina zgorevanja (vrežina reakcija radikalov) in je vidni del plamena.

Cona ob plamenu

Vsebuje končne produkte gorenja. Visoka temperatura plinov z oddaljenostjo pada.

Koncentracija reaktantov je najvišja v coni predgretja (coni segrevanja). Koncentracija reaktantov se zmanjšuje in ob koncu reakcijske cone (zatek cone plamena) zreagirajo vsi reaktanti.

Koncentracija CO narašča s prehajanjem skozi cono segrevanja in na sredini reakcijske cone doseže svoj maksimum, potem začne padati.



- Cona segrevanja: temperatura vnetljive zmesi se od začetne temperature dvigne do temperature vžiga. Temperatura vžiga je temp. pri kateri se zmes vname in je značilna za posamezni gorljiv plin.

Produktov gorenja praktično še ni, gorivo se segreje iz začetne T do T vžiga

- Reakcijska cona: Temperatura naraste do T vžiga do končne T plamena. V tej coni poteka večina zgorevanja (verižna reakcija radikalov) in je vidni del plamena. Koncentracija reaktantov se zvišuje, max koncentracija CO
- Cona ob plamenu: reaktantov ni več, so samo še produkti gorenja, koncentracija CO ni visoka, ker se oksidira v CO₂. Visoka temperatura plinov z oddaljenostjo pada.

2.) Kakšna je hitrost plina v stabilnem predhodno premešanem plamenu?

V predhodno premešanem plamenu je hitrost gorenja odvisna od hitrosti kemijske reakcije. Oksidacije pri gorenju so večinoma zelo hitre reakcije, izgube lahko zanemarimo.

Osnovna hitrost gorenja (v_g):

- je hitrost s katero raven zgorevalni val napreduje v mirujočo gorljivo zmes
- je odvisna od sestave zmesi (plina in koncentracije)
- $v_{g,max}$ je največja pri "bogati" mešanici, kjer je koncentracija goriva malo višja od stehiometrične (najbolj reaktivna zmes)
- $v_{g,max}$ je merilo za reaktivnost gorljivega plina

$$v_{pl} = \frac{v_g A_G}{D}$$

3.) Kako je definirana osnovna hitrost gorenja v laminarnem predhodno premešanem plamenu? Od česa je odvisna; v katerem primeru je največja?

$$v_{g,max} = 0,1 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$$

Osnovna hitrost gorenja v laminarno predhodno premešanem plamenu je definirana kot hitrost s katero raven zgorevalni val napreduje v mirujočo gorljivo zmes.

Odvisna je od: vrste plina, goriva in koncentracije goriva v zraku oz. v kisiku.

Največja je pri "bogati" mešanici, kjer je koncentracija goriva malo višja od stehioemtrične (najbolj reaktivna zmes).

4.) Razložite toplotne izgube pri gorenju predhodno premešanega plamena.

Prenos toplote s konvekcijo (prevladujejo pri gorenju v cevi)

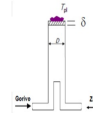
...predstavlja prenos toplote z gibajočimi fluidom, ki je lahko tekočina ali plin.

Toplotno sevanje (zanemarljive pri gorenju v cevi, pomembne v odprtem prostoru, če plamen ni v stiku s trdno površino)

- Posredne: prevajanje v cono ob plamenu in sevanje plinastih produktov gorenja
- Direktno: sevanje iz reakcijske cone

V manjši meri, ozka reakcijska cona in nizka koncentracija sevajočih delcev (zelo malo saj, CO₂ in H₂O

$$\dot{Q} = h(T_{pl} - T_0) \frac{\pi D \delta}{\pi D^2 / 4}$$



h ...koeficient toplotne prestopnosti (W/m²K)

πDδ ...stična površina med plamenom in cevjo

5.) Kaj vpliva na toplotne izgube zaradi konvekcije v predhodno premešanem plamenu? Razložite pojem razdalja ohladitve.

$$q = \alpha \cdot A \cdot \Delta T$$

q ...toplotni tok (W)

A ...stična površina med trdnim materialom in medijem (m²)

ΔT ...temperaturna razlika med temperaturo glavno maso medija in površino trdnega materiala (°C)

α ...koeficient toplotne prestopnosti (W/m²°C)

Sposobnost plamena, da napreduje po ozki cevi, je odvisna od toplotnih izgub na steno.

Ko se toplotne izgube izenačijo s hitrostjo sproščanja toplote, plamen ne more napredovati po zmesi.

Če premer cevi zmanjšamo na premer ohladitve ali na razdaljo ohladitve, plamen ne more napredovati niti po najbolj reaktivni zmesi.

Razdalja ohladitve je tista razdalja, ki še onemogoča širjenje plamena po kakršnikoli mešanici goriva in oksidanta.

Zadnja vprašanja

1.) Naštejte in razložite razlike med predhodno premešanim plamenom in difuzijskim plamenom.

Predhodno premešan plamen

- v gorlnikih – najprej mešanje, m potem gorenje - ločeni coni
- notranji svetleči stožec, primarna cona oksidacije, oksidacija poteče zelo hitro, zato tudi temperatura plamena hitro narašča

V predhodno premešanem plamenu je hitrost gorenja odvisna od hitrosti kemijske reakcije.

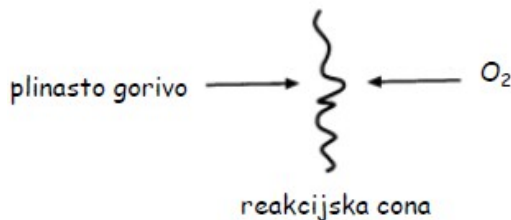
Oksidacije pri gorenju so večinoma zelo hitre reakcije, izgube lahko zanemarimo.

Temperatura plamena je odvisna od hitrosti sproščanja toplote v okolico.

- Višja temperatura plamena-višja hitrost gorenja

Difuzijski plamen

V procesu gorenja poteka transport (difuzija) snovi iz nasprotnih strani reakcijske cone (plamena). Difuzija-transport snovi iz področja z višjo koncentracijo v področje z nižjo koncentracijo



- v požarih prevladuje difuzijski plamen
- razmerje gorivo/oksidant je v difuzijskem plamenu lokalno različno: v vročem modrem plamenu je revna mešanica, v rumenem plamenu je bogata mešanica
- gorivo in oksidant sta ločena, gorenje poteka na mestu, kjer se mešata
- hitrost gorenja v difuzijskem plamenu je odvisna od hitrosti mešanja plinov, ne od hitrosti oksidacije
- večinoma: hitrost oksidacije > hitrosti mešanja plinov
- sveča gori z difuzijskim plamenom

2.) Kaj omogoča mešanje zraka z gorivom v difuzijskem plamenu?

Mešanje goriva in oksidanta poteka v plamenu po dveh mehanizmih:

- "jet" (curek): mešanje zaradi začetnega zagonskega momenta goriva (primer: gorenje plina, ki izhaja iz cevi)
- vzgonski plamen: mešanje zaradi vzgona. Goriva nima izrazitega zagonskega momenta. (primer: gorenje trdnih snovi in tekočin)

3.) Kaj opazimo pri prehodu difuzijskega plamena iz laminarnega v turbulenten plamen? (oblika plamena, višina plamena, Fr, Q*)

oblika plamena (laminaren, je raven brez prekinjanja, lepo izoblikovan), ko prehaja v turbulenten plamen, pa se le ta začne vrtinčit, ni lep oblik,,...

Fr - to je neka odvisnost... jet(turbulenten) = visok Fr, vzgon (laminaren), nizki Fr

višina še nekoliko zmanjša, saj je boljše izgorevanje pri turboletnem, Fr je pa mera, da lahko klasificiramo plamen,

$Q^* \sim 10^6$ jet, $Q^* \sim 1$ vzgonski...

4.) Kateri spremenljivki določata Fr, kaj lahko sklepamo iz visokega oz. nizkega Fr?

$$Fr \sim \frac{\dot{Q}^2}{D^5}$$

Q...konstanten

D zelo majhen – visok pretok plina, visok Fr, "jet" plamen, $h(\text{plamena}) \gg D$

D zelo velik – nizek pretok plina, nizek Fr, vzgonski plamen, $h(\text{plamena}) \sim D$ (primer: gorenje oblazinjenega pohištva, razlite tekočine)

Visoko Fr – gre za "jet" plamen

Nizko Fr – gre za vzgonski plamen

5.) **Kateri veličini je sorazmerna višina plamena v difuzijskem vzgonskem in laminarnem oz. turbolentnem jet plamenu?**

Številni preskusi kažejo, da je višina plamena odvisna od hitrosti sproščanja toplote in premera plamena. Pri računanju višine plamena je smiselno uporabiti brezdimenzijsko hitrost sproščanja toplote \dot{Q}^* .

Pri izračunu višine plamena je pomembno modificirano Froudeovo število Q^* (izračeno s količino toplote, ki se sprošča pri gorenju!!!)

$$\dot{Q}^* = \sqrt{Fr} \sim \frac{\dot{Q}}{D^{5/2}} \quad \dot{Q}^* \text{ -brezdimenzijska hitrost sproščanja toplote}$$

$$\dot{Q}^* \sim 10^6 \text{ "jet"}; \quad \dot{Q}^* \sim 1 \text{ za vzgonski plamen}$$

Difuzijski plamen in \dot{Q}^*

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_\infty c_p T_\infty \sqrt{g D D^2}} \quad \dot{Q}^* \text{ brezdimenzijska spremenljivka uporabna za izračun višine plamena}$$

$$\dot{Q} \text{ hitrost sproščanja toplote [kW]}$$

$$\dot{Q}_r = \frac{\dot{Q}}{1110 D^{5/2}} \quad D - \text{premer [m]}$$

$$c_p \text{ [kJ/kg K]}$$

$$T_\infty \text{ [K]}$$

$$g - \text{gravitacija [m/s}^2\text{]}$$

$$\rho_\infty \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

** Oblika in višina vzgonskega plamena

$$f = (0,50 \pm 0,04)(g / D)^{1/2} \text{ Hz}$$

Pagnijeva korelacija: ($D = 0,3 \text{ m}$)

3 Hz (3 utrip/s); en utrip 0,33 s

6.) **Opišite značilnosti osnosimetričnega vzgonskega plamena.**

- v vseh smereh je simetričen
- v vzgonskem toku prevladuje zrak (malo produktov gorenja)
- v stožcu masni vzgonski tok najvišji
- v stalnem plamenu hitrost plina narašča po enačbi: □

Vzgonski tok

- hitrost in temperatura z višino padata

$$v_0 = 1,1 \left(\frac{\dot{Q}}{z} \right)^{1/3}$$

Področje intermitence

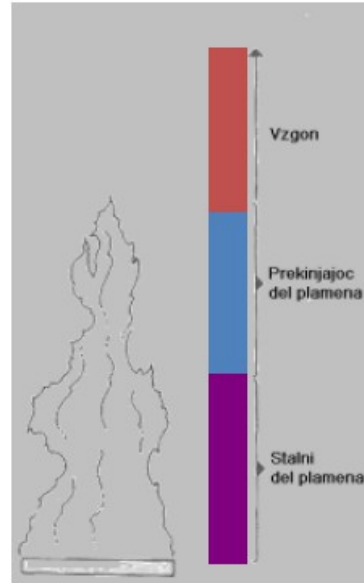
- področje "skoraj" konstantnega pretoka

$$v_0 = 1,9 \dot{Q}^{1/5}$$

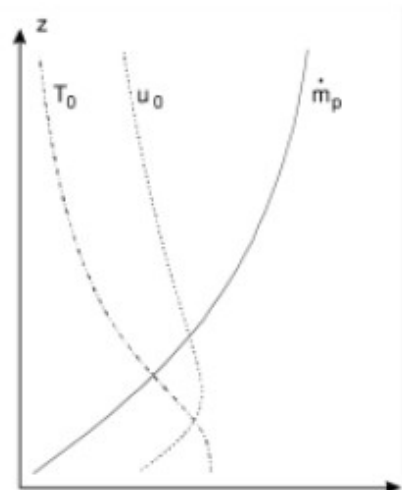
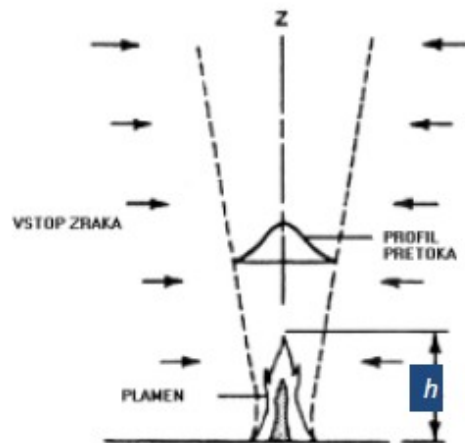
Bližnje področje

- stalni plamen in pospešen pretok gorečih plinov (cona gorenja)

$$v_0 = 6,8 \sqrt{z}$$



Osnosimetrični vzgonski difuzijski plamen



7.) Kaj se zgodi, ko plamen v prostoru doseže strop?

Navpično dvigovanje prostega plamena se ob stiku s stropom odkloni v horizontalni smeri, vroči plini tvorijo plast vročih plinov pod stropom. V horizontalnem plamenu je manjše vstopanje zraka v plamen kot na prostem. Revna mešanica - omejen vstop zraka ni pomemben, dolžina plamena je manjša kot na prostem. Bogata mešanica - plamen je daljši kot bi bil na prostem, zaradi počasnejšega mešanja z zrakom...