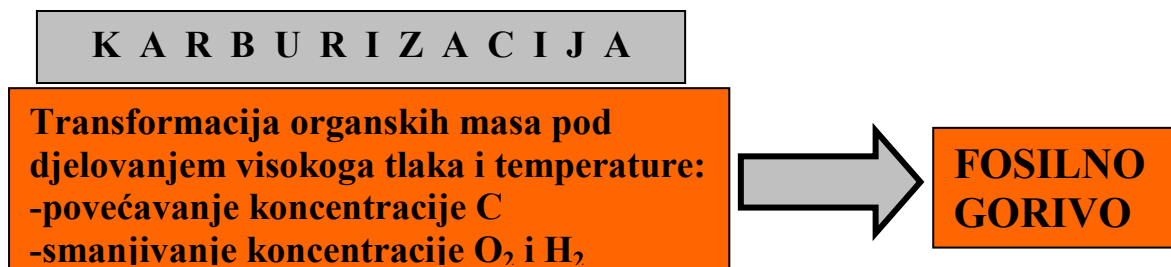


GORIVA

- *Da bi se neka tvar općenito mogla smatrati gorivom, moraju biti udovoljeni sljedeći osnovni preduvjeti:*
- *da se prilikom izgaranja oslobađa toplina;*
 - *da su na raspolaganju dovoljne količine;*
 - *da je omogućena eksploatacija;*
 - *da ima prihvatljivu cijenu.*

❖ PODJELA GORIVA

- **Prema agregatnome stanju:**
 - kruta goriva;
 - tekuća goriva;
 - plinovita goriva.
- **Prema postanku (porijeklu):**
 - prirodna goriva
 - prirodna kruta: drvo, treset, ugljen, uljni škriljci;
 - prirodna tekuća: nafta;
 - prirodna plinovita: zemni (prirodni) plin.
 - umjetna goriva
 - umjetna kruta: koks, briketi;
 - umjetna tekuća: loživo ulje, dizelsko gorivo, petrolej, benzin itd.;
 - umjetna plinovita: koksni plin, rafinerijski plin, grotleni plin, bio-plin, sintetski plin.
- **Nastanak konvencionalnih (fosilnih, organskih) goriva:**



Usporedni sadržaj elemenata u zavisnosti o starosti i kvalitete goriva

GORIVO	% C	% O ₂	% H ₂	% ISP. SAST.
DRVO	50	42	6	85
TRESET	51	39	6	70
MRKI UGLJEN	58	38	5	55
KAMENI UGLJEN	75	15	4	37
	90	4	3	9
ANTRACIT	93	2	2	4

TOPLINSKA VRIJEDNOST GORIVA ↓

❖ SASTAV GORIVA

Kruta i tekuća goriva se sastoje u osnovi od dva dijela:

- goriva materija;
- ne-goriva (balastna materija): pepeo i voda.

• Sastojci goriva:

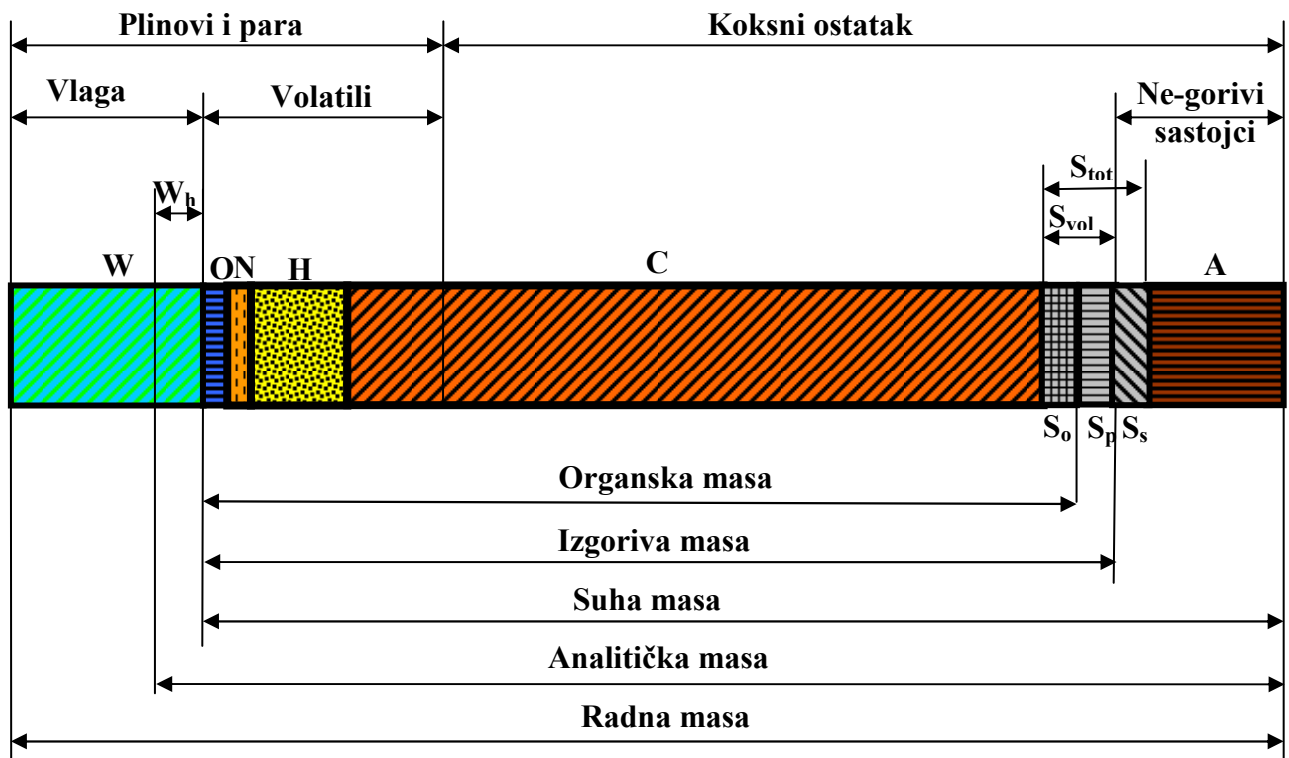
- Ugljik (C)
- Vodik (H)
- Kisik (O)
- Dušik (N)
- Sumpor (S)
- Dušik (N)
- Pepeo (A)
- Voda (W)

$$m_{C(\%)} + m_{H(\%)} + m_{O(\%)} + m_{N(\%)} + m_{S(\%)} + m_{A(\%)} + m_{W(\%)} = 100$$

$$m_C + m_H + m_O + m_N + m_S + m_A + m_W = 1$$

- Sastav goriva obzirom na stanje analizirane mase:

- **Radna masa:** $m_C^r + m_H^r + m_O^r + m_N^r + m_S^r + m_A^r + m_W^r = 1$
- **Analitička masa:** $m_C^a + m_H^a + m_O^a + m_N^a + m_S^a + m_A^a + m_W^a = 1$
- **Suha masa:** $m_C^s + m_H^s + m_O^s + m_N^s + m_S^s + m_A^s = 1$
- **Izgoriva masa:** $m_C^g + m_H^g + m_O^g + m_N^g + m_{S,vol}^g = 1$
- **Organska masa:** $m_C^o + m_H^o + m_O^o + m_N^o + m_S^o = 1$



-
- **Radna masa** goriva je masa onoga oblika goriva koje se isporučuje na mjesto potrošnje.
 - Nakon sušenja, odnosno nakon oslobađanja slobodne vlage, dobiva se **analitička masa goriva**. Preostala vlaga u gorivu je higroskopna vlaga (W_h).
 - Grijanjem na $102 - 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ oslobađa se cjelokupna vlaga te tada preostaje **suha masa goriva**.
 - **Izgoriva masa goriva** sadrži elemente organske materije te gorivi anorganski spoj sumpora (pirit - FeS_2).
 - Ukupna količina sumpora u gorivu sastoji se iz dijela koji ulazi u organske gorive spojeve (S_o), anorganski gorivi dio (pirit - FeS_2) te u sulfatne ne-gorive spojeve (S_s).

$$S_{tot} = S_{vol} + S_s = S_o + S_p + S_s$$

- **Organska masa** goriva je izgoriva masa umanjena za piritni sumpor.
- **Gorivi elementi** u gorivu jesu:
 - ugljik (C)
 - vodik (H)
 - sumpor (S)
- **Plinovita goriva** su smjese gorivih i negorivih plinova (zavisno od vrste i porijekla):
metan (CH_4), etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), butan (C_4H_{10}),
sumporovodik (H_2S), ugljik-monoksid (CO), ugljik dioksid (CO_2) i dr.

❖ TOPLINSKA VRIJEDNOST GORIVA

- **Toplinska vrijednost goriva** predstavlja količinu topline koja se razvija pri potpunome izgaranju jedinice količine goriva; (kJ/kg), (kJ/m_n³);
- **Gornja toplinska vrijednost goriva (H_g)** je količina topline koja se oslobađa potpunim izgaranjem jedinice količine goriva u uvjetima kada se nastala vodena para iz dimnih plinova kondenzira te kada se dimni plinovi ohlade na temperaturu od 0 °C.
- **Donja toplinska vrijednost goriva (H_d)** razlikuje se od gornje toplinske vrijednosti za veličinu latentne topline isparivanja (kondenzacije) vodene pare iz dimnih plinova, koja nastaje iz sadržane vlage i vodika u gorivu.
- Toplinska vrijednost određuje se:
 - laboratorijski pomoću kalorimetra;
 - analitički na bazi sastava goriva

• Za kruta i tekuća goriva:

Donja toplinska vrijednost

$$H_d = 34000m_C + 120000\left(m_H - \frac{m_O}{8}\right) + 10500m_S - 2500m_W \quad [\text{kJ/kg}]$$

Prema Mendeljejevoj formuli:

$$H_d = 33900B + m_C + 103000m_H + 10900(m_O - m_S) - 2500m_W \quad [\text{kJ/kg}]$$

Gornja toplinska vrijednost

$$H_g = H_d + H_W = H_d + 2500(9m_H + m_W) \quad [\text{kJ/kg}]$$

• Za plinovita goriva:

$$H_d = \sum r_i H_{d,i} = r_{H_2} H_{d,H_2} + r_{CO} H_{d,CO} + r_{CH_4} H_{d,CH_4} + r_{C_2H_6} + \dots \quad [\text{kJ/m}_n^3]$$

gdje je:

- r_i - volumni udjel pojedinog gorivog plina u plinskoj smjesi;
- H_{d,i} - donja toplinska vrijednost pojedinog gorivog plina (kJ/m_n³).

❖ GLAVNE TEHNIČKE KARAKTERISTIKE KRUTIH GORIVA

• Sadržaj i sastav pepela

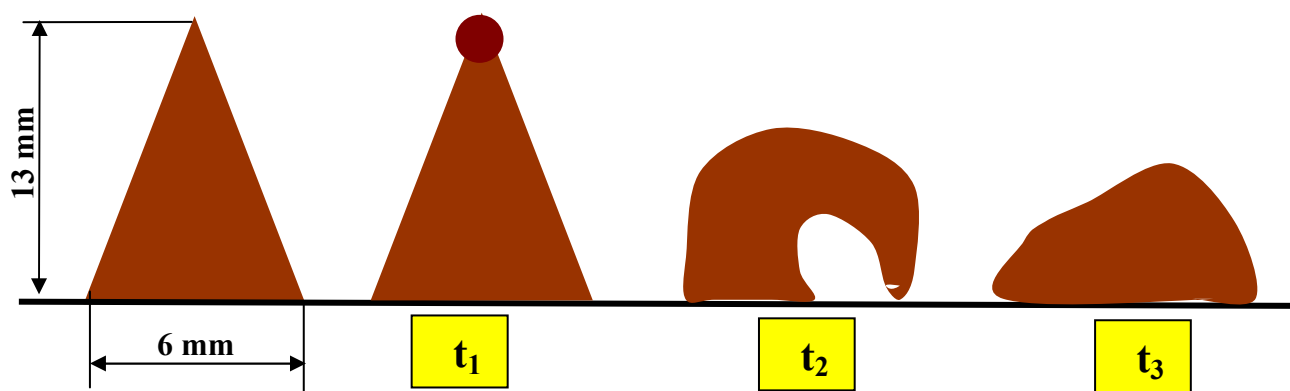
Ova karakteristika je važna za projektiranje sustava za otpeljeljivanje odnosno odšljakivanje generatora pare (odstranjivanje pepela i šljake iz generatora pare).

Pepeo uglavnom čine složeni spojevi aluminijevih i silicijevih oksida, sulfata i karbonata: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , NaO , FeO , Fe_2O_3 i drugi spojevi.

• Temperatura taljenja pepela

Ova karakteristika važna je radi sprječavanja lijepljenja pepela na ogrjevnim površinama kao i za izvedbu načina odvođenja pepela iz ložišta.

- **Temperatura taljenja pepela: 600 - 2900 °C**
- **Temperatura taljenja pepela utvrđuje se tzv. standardnim konusnim testom**



t_1 - početak deformacije (1000 - 1200 °C)
 t_2 - omekšavanje (1100 - 1400 °C)
 t_3 - taljenje (1200 - 1500 °C)

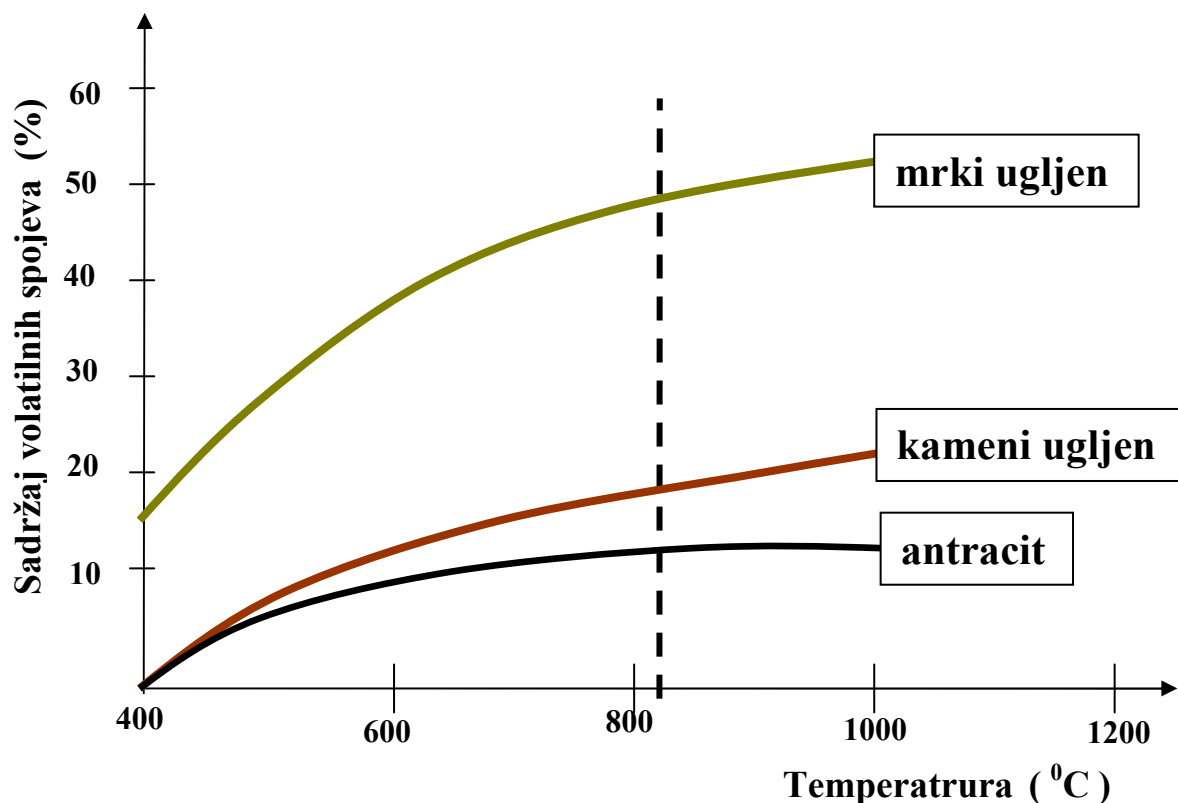
- **Sadržaj volatilnih spojeva**

Volatili su plinoviti sastojci (CO , H_2 , CH_4 i sl.) koji se oslobađaju iz goriva pri povišenim temperaturama.

Ova karakteristika ukazuje na sklonost goriva zapaljenju.

Temperatura samozapaljenja volatilnih sastojaka je $350 - 600\text{ }^{\circ}C$.

Sadržaj volatila određuje se standardnim testom - grijanjem na temperaturi $850 \pm 25\text{ }^{\circ}C$ (bez prisutnosti zraka) u trajanju 7 minuta, pri čemu se utvrđuje volumni udjel oslobođenih plinovitih sastojaka.



- **Koksní ostatak**

- *Utvrdjuje se standardnim laboratorijskim testom.*
- *Zavisi od vrste goriva (ugljena).*
- *Pokazuje sklonost stvaranju koksa i paljenju goriva.*
- *Temperatura samozapaljenja koksnoga ostatka je 900 - 1200 °C.*

- **Sadržaj vlage**

➤ slučajna (gruba) vlaga	▲ 102 - 105 °C
➤ adsorbirana vlaga	┆
➤ ćelijska vlaga	┆
➤ vezana vlaga	┆

Utjecaj vlage u gorivu:

- *smanjuje toplinsku vrijednost goriva*
- *povećava potrošnju goriva*
- *povećava koroziju*
- *povećava obujam izlaznih dimnih plinova.*

- **Mehanička čvrstoća goriva (ugljena)**

- *Određuje se standardnim testom (ASTM, CKTI).*
- *Utječe na meljavost ugljena (sklonost ugljena da se usitnjuje)*
- *Utječe na potrošnju energije za pogon mlinova za usitnjavanje ugljena.*

❖ GLAVNE TEHNIČKE KARAKTERISTIKE TEKUĆIH GORIVA

- **Gustoća**
- **Viskoznost (kinematska)**
Zavisnost kinematske viskoznosti o temperaturi:

$$\ln \nu = C_1 e^{-C_2 t}$$

gdje je:

ν - kinematska viskoznost goriva

C_1 i C_2 - karakteristične konstante zavisne o vrsti goriva,

t - temperatura goriva ($^{\circ}\text{C}$).

Granica pumpabilnosti za cjevovodni transport:

- $8,0 \times 10^{-4}$ do $10,0 \times 10^{-4}$ [m^2/s]

ili ~ 110 do 140 $^{\circ}\text{E}$

Za **raspršivanje** goriva

- $0,2 \times 10^{-4}$ do $0,4 \times 10^{-4}$ [m^2/s]

ili ~ 3 do 5 [$^{\circ}\text{E}$]

- **Temperatura samopaljenja**
- **Temperatura paljenja**
- **Temperatura stinjavanja**
- **Koksní broj (Conradson test)**
- **Sadržaj vlage**
- **Sadržaj sumpora**
- **Sadržaj teških metala (V, Na)**
- **Sadržaj pepela**

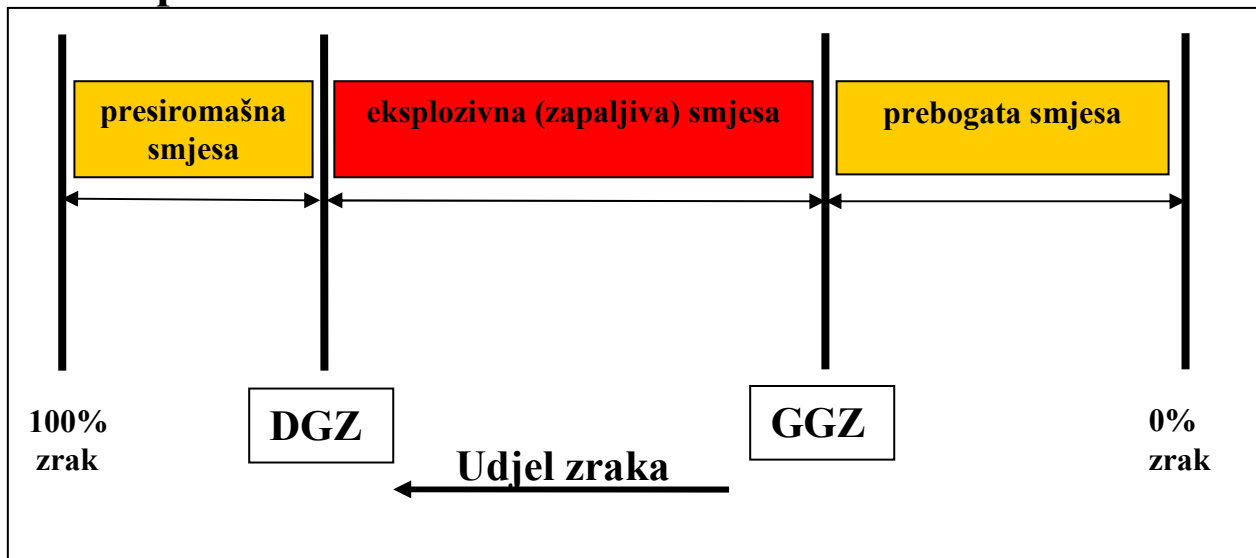
❖ GLAVNE TEHNIČKE KAKARTERISTIKE PLINOVITIH GORIVA

- **Gustoća, ρ**

- apsolutna [kg/m_n^3]
- relativna (prema zraku)

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_{zr}} = \frac{\rho}{1,293}$$

- **Eksplozivnost**



- **Donja granica zapaljivosti plinske smjese (DGZ):**

$$DGZ = \frac{100}{\frac{V_1}{DGZ_1} + \frac{V_2}{DGZ_2} + \frac{V_3}{DGZ_3} + \dots}$$

- **Gornja granica zapaljivosti plinske smjese (GGZ):**

$$GGZ = \frac{100}{\frac{V_1}{GGZ_1} + \frac{V_2}{GGZ_2} + \frac{V_3}{GGZ_3} + \dots}$$

gdje su V_1, V_2, V_3 , itd. - volumni udjeli sastojaka u plinskoj smjesi (%).

- **Toksičnost (otrovnost) -** sadržaj $\text{CO}, \text{H}_2\text{S}$.

IZGARANJE

➤ **Izgaranje** → fizikalno - kemijski - egzotermni proces.

↓	↓	↓
miješanje sa zrakom	brza oksidacija	oslobađanje topline

➤ **Statika izgaranja** - razmatranje početnih i krajnjih fizikalno-kemijskih stanja.

Statika procesa izgaranje temelji se na:

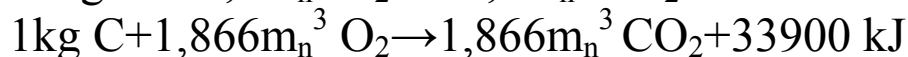
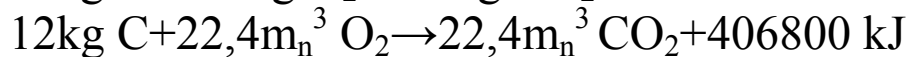
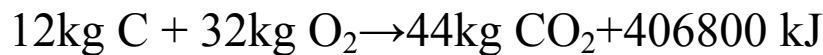
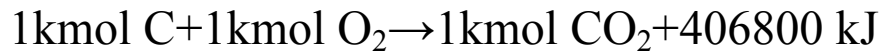
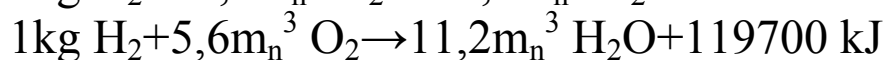
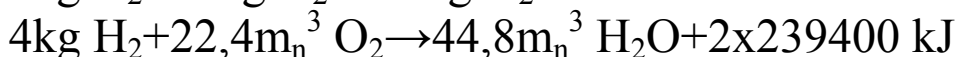
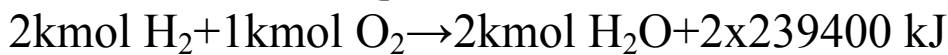
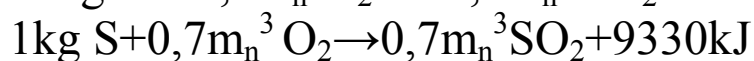
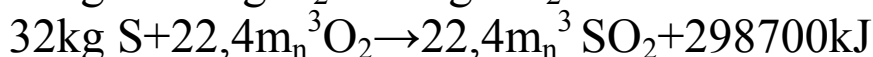
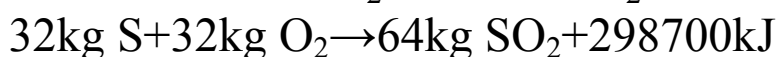
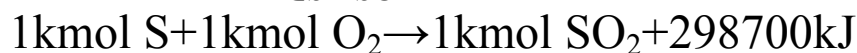
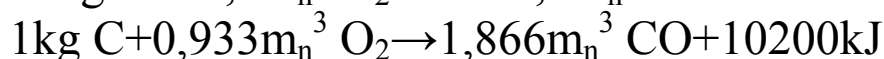
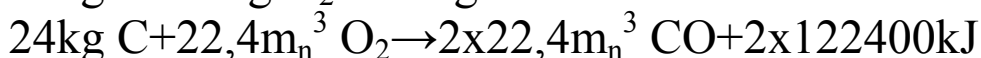
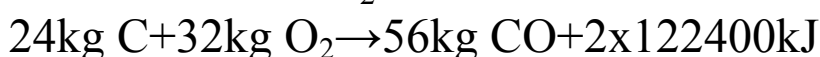
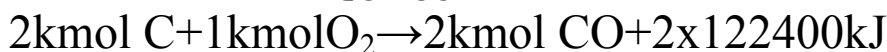
- **Avogardovom zakonu** - prema kojemu se u prostoru određenoga obujma, pri istome tlaku i temperaturi, nalazi uvijek isti broj molekula idealnog plina:

$$N = 6,023 \times 10^{26} \text{ molekula/kmol}$$
$$1 \text{ kmol} = 22,4 \text{ m}_n^3$$

- **Daltonovom zakonu** - prema kojem se kemijske reakcije izgaranja zbivaju prema definiranim količinskim odnosima koji se nazivaju stehiometrijski odnosi.

➤ **Dinamika izgaranja** - razmatranje fizikalno-kemijskih procesa (promjena) tijekom izgaranja.

❖ STEHIOMETRIJSKI ODNOSI IZGARANJA

• **Reakcija C → CO₂**• **Reakcija H → H₂O**• **Reakcija S → SO₂**• **Reakcija C → CO (nepotpuno izgaranje)**

❖ KOLIČINA ZRAKA ZA IZGARANJE

- **Minimalna (teoretska) količina kisika za izgaranje**

$$V_{O, \min} = 1,87m_C + 5,6m_H + 0,7m_S - \frac{m_O}{\rho_{O_2}} \quad [m_n^3/kg_G]$$

$$\rho_{O_2} = \frac{32}{22,4} = \frac{1}{0,7} \quad [kg/m_n^3]$$

$$V_{O, \min} = 1,87m_C + 5,6 \left(m_H - \frac{m_O}{8} \right) + 0,7m_S \quad [m_n^3/kg_G]$$

gdje su:

m_C, m_H, m_S, m_O , maseni udjeli pojedinih elemenata u gorivu u (kg/kg).

- **Minimalna (teoretska) količina zraka za izgaranje**

- **Za tekuća i kruta goriva:**

$$V_{z, \min} = \frac{1}{0,21} \left[1,87m_C + 5,6 \left(m_H - \frac{m_O}{8} \right) + 0,7m_S \right] \quad [m_n^3/kg_G]$$

- **Za plinovita goriva:**

$$V_{z, \min} = \frac{1}{0,21} \left[0,5(r_{CO} + r_{H_2}) + 1,5r_{H_2S} + \Sigma \left(m + \frac{n}{4} \right) r_{CmHn} - r_{O_2} \right] \quad [m_n^3/m_n^3_G]$$

gdje su:

$r_{CO}, r_{H_2}, r_{H_2S}, r_{CmHn}$, volumni udjeli pojedinih gorivih sastojaka u smjesi plinova u (m^3/m^3).

- **Stvarna količina zraka za izgaranje**

$$V_z = \lambda V_{z, \min} \quad [m_n^3/kg_G]; [m_n^3/m_n^3_G]$$

gdje je λ - koeficijent pretička zraka za izgaranje ($\lambda = V_z / V_{z, \min}$).

- Zavisnost λ o vrsti goriva i načinu izgaranja**

(Orijentacijske vrijednosti koef. pretička zraka za izgaranje)

Vrsta goriva	Način izgaranja	λ	
		Krupni asortiman	Sitni asortiman
Ugljen	u sloju, ručno loženje	1,6 - 1,8	1,5 - 1,7
	na nepokretnoj rešetki	1,4 - 1,6	1,3 - 1,5
	na pokretnoj rešetki	1,3 - 1,4	1,25 - 1,35
	ugljena prašina (suhi režim)	1,3-1,35	1,25 - 1,3
	ugljena prašina (tekući režim)	1,25 - 1,3	
	višeekomorno ložište		1,15 - 1,25
	ciklonsko ložište	1,1 - 1,15	1,05 -1,25
Drvo	loženje u sloju		1,3 - 1,5
	izgaranje u letu		1,3 - 1,4
Tekuće gorivo			1,03 - 1,1
Plinovito gorivo			1.02 - 1,1

❖ KOLIČINA I SASTAV DIMNIH PLINOVA

• Količina CO₂

- Za kruta i tekuća goriva:

$$V_{CO_2} = 1,87 m_C \quad [m_n^3/kg_G]$$

- Za plinovita goriva:

$$V_{CO_2} = r_{CO_2} + r_{CO} + \sum m r_{CmHn} \quad [m_n^3/m_n^3_G]$$

• Količina H₂O

- Za kruta i tekuća goriva

$$V_{H_2O} = 1,24(9m_H + m_W) \quad [m_n^3/kg_G]$$

- Za plinovita goriva:

$$V_{H_2O} = r_{H_2} + r_{H_2S} + \sum \frac{n}{2} r_{CmHn} \quad [m_n^3/m_n^3_G]$$

• Količina SO₂

- Za kruta i tekuća goriva

$$V_{SO_2} = 0,7 m_S \quad [m_n^3/kg_G]$$

- Za plinovita goriva:

$$V_{SO_2} = r_{H_2S} \quad [m_n^3/m_n^3_G]$$

gdje su:

m_C, m_H, m_S, m_O , maseni udjeli (kg/kg).

$r_{CO}, r_{H_2}, r_{H_2S}, r_{CmHn}$, volumni udjeli (m³/m³)

- **Količina N_2**

- **Za kruta i tekuća goriva:**

$$V_{N_2} = 0,8m_N + 0,79\lambda V_{z,min} \quad [m_n^3/kg_G]$$

- **Za plinovita goriva:**

$$V_{N_2} = r_{N_2} + 0,79\lambda V_{z,min} \quad [m_n^3/m_n^3_G]$$

- **Količina O_2**

- **Za kruta, tekuća i plinovita goriva:**

$$V_{O_2} = 0,21(\lambda - 1)V_{z,min} \quad [m_n^3/kg_G]; [m_n^3/m_n^3_G]$$

- **Ukupni volumen dimnih plinova izgaranja:**

$$V_{pl} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} \quad [m_n^3/kg_G]; [m_n^3/m_n^3_G]$$

- **Volumen suhih dimnih plinova izgaranja:**

$$V_{pl,s} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} \quad [m_n^3/kg_G]; [m_n^3/m_n^3_G]$$

- **Udjeli produkata izgaranja u dimnim plinovima:**

$r_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_{pl}}$	$r_{CO_2(\%)} = \frac{V_{CO_2}}{V_{pl}} 100$
$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{pl}}$	$r_{H_2O(\%)} = \frac{V_{H_2O}}{V_{pl}} 100$
$r_{SO_2} = \frac{V_{SO_2}}{V_{pl}}$	$r_{SO_2(\%)} = \frac{V_{SO_2}}{V_{pl}} 100$
$r_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V_{pl}}$	$r_{N_2(\%)} = \frac{V_{N_2}}{V_{pl}} 100$
$r_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{pl}}$	$r_{O_2(\%)} = \frac{V_{O_2}}{V_{pl}} 100$

$$\sum r_i = 1$$

$$\sum r_{i(\%)} = 100$$

❖ H-t DIJAGRAM DIMNIH PLINOVA

H- t dijagram dimnih plinova prikazuje zavisnost sadržaja topline (entalpije) dimnih plinova, koji nastaju izgaranjem 1 kg krutog ili tekućeg goriva odnosno $1 m_n^3$ plinovitog goriva, o temperaturi i pretičku zraka za izgaranje.

Budući se prijelaz topline sa strane dimnih plinova zbiva uz približno konstantan tlak ($p \sim \text{konst.}$), važi:

$$dh = C_p dt \rightarrow h = \int_0^t C_p dt \rightarrow h = C_{pm} \Big|_0^t$$

Radi praktičnosti toplinskoga proračuna generatora pare, entalpija dimnih plinova računa se kao sadržaj topline dimnih plinova koji nastaju po 1 kg krutog ili tekućeg goriva, odnosno po $1 m_n^3$ plinovitog goriva. Prema tome slijedi:

$$H = \sum V_i h_i$$

$$H = V_{CO_2} h_{CO_2} + V_{H_2O} h_{H_2O} + V_{SO_2} h_{SO_2} + V_{N_2} h_{N_2} + V_{O_2} h_{O_2} \quad [\text{kJ/kg}_G]; [\text{kJ/m}_n^3 \text{G}];$$

gdje je:

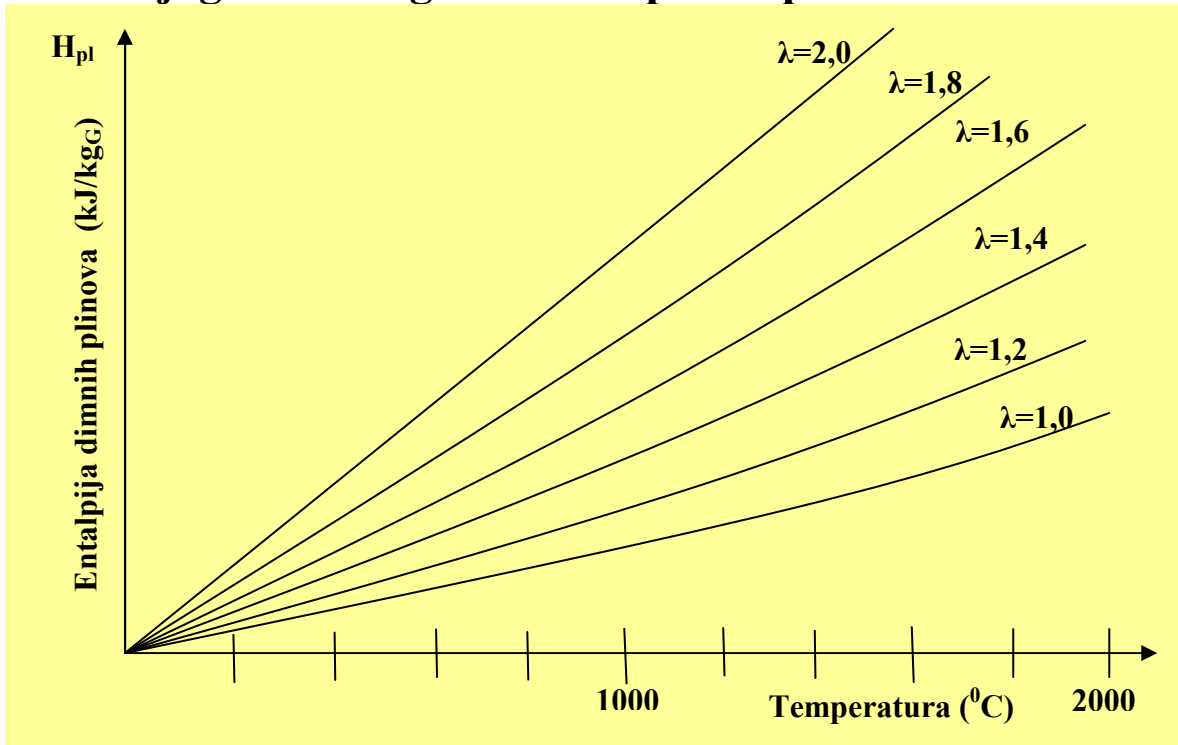
$$V_{CO_2}, V_{H_2O}, \text{ itd.} \dots \text{u } (m_n^3/\text{kg}_G); (m_n^3/m_n^3 \text{G})$$

$$h_{CO_2} = C_{pm,CO_2} \Big|_0^t, \quad h_{H_2O} = C_{pm,H_2O} \Big|_0^t, \quad \text{itd.} \dots \text{u } (\text{kJ/m}_n^3)$$

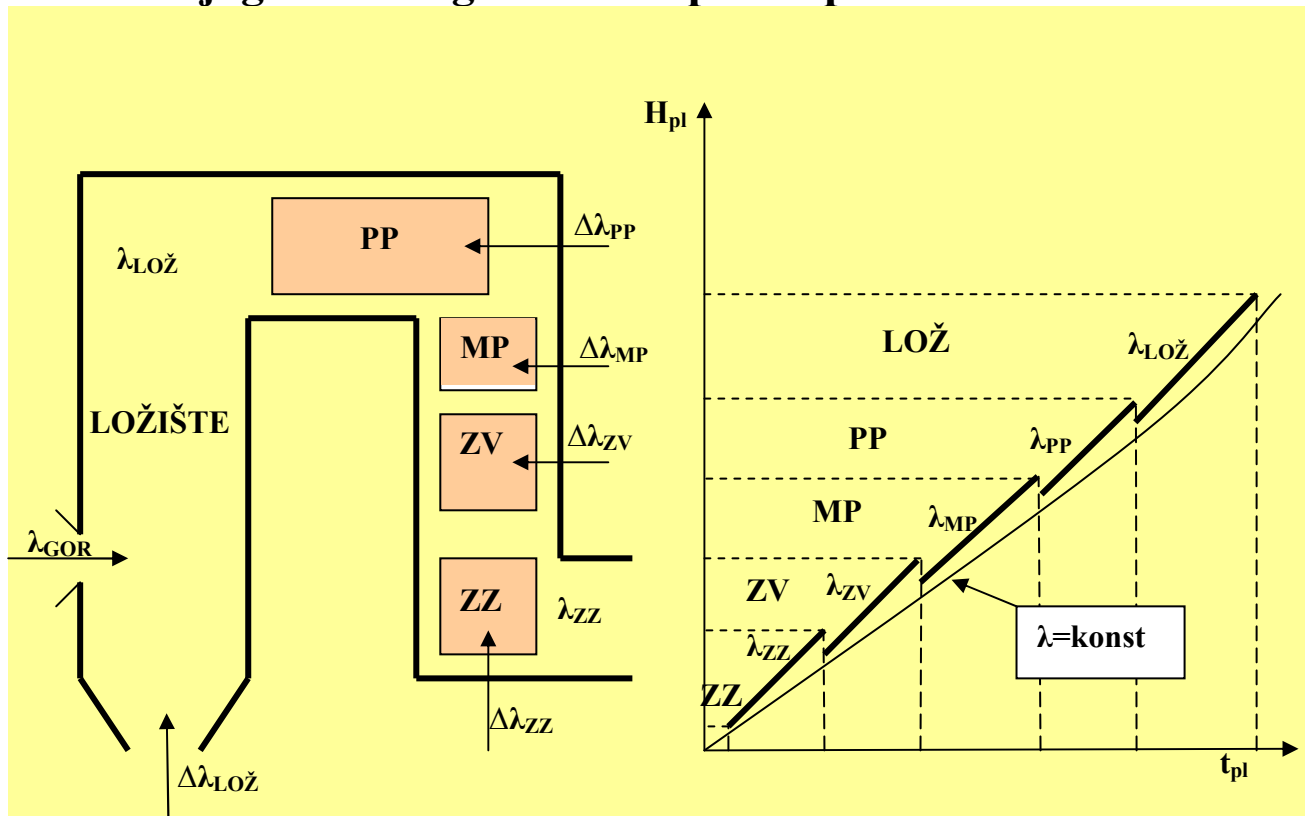
Može se zaključiti da svako gorivo ima drugačiji H-t dijagram, što ovisi o sastavu goriva i pretičku zraka za izgaranje.

Kod generatora pare s tlačnom ventilacijom, gdje u dimnom prolazu vlada pretlak, promjena entalpije dimnih plinova zbiva se uz $\lambda = \text{konst.}$ Međutim, kod generatora pare s isisnom ventilacijom, gdje u dimnom prolazu vlada podtlak, dolazi do određenoga prodora okolnoga zraka kroz spojeve koji propuštaju, što ima za posljedicu porast volumena i smanjenje temperature dimnih plinova na putu od ložišta prema izlazu iz dimnjaka.

• **H-t dijagram kod generatora pare s pretlakom**



• **H-t dijagram kod generatora pare s podtlakom**



❖ IZGARANJE MJEŠAVINE GORIVA

- **Izgaranje dvije vrste goriva istoga agregatnog stanja**

- **Sastav mješavine goriva:**

$$m_C = g_1 m_{C1} + (1 - g_1) m_{C2} \quad [\text{kg}/\text{kg}_{\text{mješavine}}]$$

$$m_H = g_1 m_{H1} + (1 - g_1) m_{H2} \quad [\text{kg}/\text{kg}_{\text{mješavine}}]$$

$$m_O = g_1 m_{O1} + (1 - g_1) m_{O2} \quad [\text{kg}/\text{kg}_{\text{mješavine}}]$$

$$m_S = g_1 m_{S1} + (1 - g_1) m_{S2} \quad [\text{kg}/\text{kg}_{\text{mješavine}}]$$

$$m_N = g_1 m_{N1} + (1 - g_1) m_{N2} \quad [\text{kg}/\text{kg}_{\text{mješavine}}]$$

$$m_A = g_1 m_{A1} + (1 - g_1) m_{A2} \quad [\text{kg}/\text{kg}_{\text{mješavine}}]$$

$$m_W = g_1 m_{W1} + (1 - g_1) m_{W2} \quad [\text{kg}/\text{kg}_{\text{mješavine}}]$$

- **Donja toplinska vrijednost mješavine goriva:**

$$H_d = g_1 H_{d1} + (1 - g_1) H_{d2} \quad [\text{kJ}/\text{kg}_{\text{mješavine}}]$$

- **Volumen dimnih plinova:**

$$V_{pl} = g_1 V_{pl1} + (1 - g_1) V_{pl2} \quad [\text{m}_n^3/\text{kg}_{\text{mješavine}}]$$

- **Entalpija dimnih plinova**

$$H_{pl} = g_1 H_{pl1} + (1 - g_1) H_{pl2} \quad [\text{kJ}/\text{kg}_{\text{mješavine}}]$$

gdje je:

g_1 - maseni udio goriva „1“ u mješavini ($\text{kg}_{\text{goriva“1“}}/\text{kg}_{\text{mješavine}}$)
indeks „1“ odnosi se na gorivo broj 1.

- **Izgaranje dvije vrste goriva različitih agregatnih stanja**

- **Donja toplinska vrijednost mješavine goriva:**

$$H_d = H_{d1} + x H_{d2} \quad [\text{kJ}/\text{kg}_{\text{goriva“1“}}]$$

- **Volumen dimnih plinova:**

$$V_{pl} = V_{pl1} + x V_{pl2} \quad [\text{m}_n^3/\text{kg}_{\text{goriva“1“}}]$$

- **Entalpija dimnih plinova**

$$H_{pl} = H_{pl1} + x H_{pl2} \quad [\text{kJ}/\text{kg}_{\text{goriva“1“}}]$$

gdje je:

x - udio plinovitog goriva po 1 kg krutog ili po 1 kg tekućeg

goriva ($m_n^3/\text{kg}_{\text{goriva}}^{\text{1}}$).

❖ KONTROLA PROCESA IZGARANJA

Kontrola procesa izgaranja vrši se s ciljem da se utvrdi da li se izgaranje vrši uz najpovoljniji (optimalan) pretičak zraka.

- **Premali pretičak zraka (λ)** → izgaranje nepotpuno → emisija CO → gubici zbog nepotpuna izgaranja → manja učinkovitost.
- **Preveliki pretičak zraka (λ)** → veća količina izlaznih dimnih plinova → veći gubici osjetne topline izlaznih dimnih plinova → manja učinkovitost.

Kontrola izgaranja provodi se analizom sastava izlaznih dimnih plinova, temeljem čega se utvrđuje „kvaliteta“ izgaranja, odnosno potrebne korektivne mjere za njegovo poboljšanje.

*Na bazi poznatih podataka o sastavu dimnih plinova (sadržaju CO_2 i O_2 u dimnim plinovima) iz **Ostvald-ovog trokuta izgaranja** utvrđuje se „kvaliteta“ izgaranja te način podešavanja u cilju smanjenja gubitaka.*

- **Koeficijent pretička zraka za izgaranje (λ) zavisi od:**
 - vrste goriva
 - načinu pripreme goriva
 - veličine i oblika gorive čestice
 - udjela isparljivih sastojaka
 - temperature zapaljenja goriva
 - brzine izgaranja
 - temperature zraka za izgaranje
 - tlaka u ložištu
 - opterećenja generatora pare
 - vrste plamenika.

• **Ostwald-ov trokut izgaranja (proračun i konstrukcija)**

Ostwald-ov trokut je priručno grafičko pomagalo pomoću kojega se vrši kontrola i podešavanje procesa izgaranja.

Ostwaldov trokut svojstven je pojedinoj vrsti goriva, budući da njegove karakteristične veličine i oblik zavise o sastavu goriva.

U nastavku je prikazan proračun i konstrukcija Ostwald-ova trokuta izgaranja

1) POSTAVKA: IZGARANJE JE POTPUNO (C → CO₂)

- Volumen suhih dimnih plinova kod potpuna izgaranja:

$$V_{pl,s} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{O_2} + V_{N_2}$$

- Volumen suhih dimnih plinova kod nepotpuna izgaranja:

$$V_{pl,s} = V_{CO_2} + V_{CO} + V_{SO_2} + V_{O_2} + V_{N_2}$$

- Sastav suhih dimnih plinova kod potpuna izgaranja (zbog male veličine, udio SO₂ može se zanemariti):

$$r_{CO_2}(\%)_s + r_{O_2}(\%)_s + r_{N_2}(\%)_s = 100\%$$

- Sastav suhih dimnih plinova kod nepotpuna izgaranja:

$$r_{CO_2}(\%)_s + r_{O_2}(\%)_s + r_{N_2}(\%)_s + r_{CO}(\%)_s = 100\%$$

Iz gonjih izraza proizlazi odnos:

$$r_{CO_2}(\%)_s : 100 = V_{CO_2,s} : V_{pl,s}$$

$$r_{CO_2}(\%)_s = \frac{V_{CO_2}}{V_{pl,s}} 100 = \frac{1,87m_C(\%)}{V_{pl,s}}$$

odnosno maksimalni volumni udio CO₂ u suhim dimnim plinovima:

$$r_{CO_2}(\%)_{s,max} = \frac{1,87m_C(\%)}{V_{pl,s,min}}$$

gdje je:

$$V_{pl,s,min} = 1,87m_C + 0,7m_S + 0,8m_N + 0,79V_{z,min}$$

$$\frac{r_{\text{CO}_2(\%)s}}{r_{\text{CO}_2(\%)s,\text{max}}} = \frac{V_{\text{pl},s,\text{min}}}{V_{\text{pl},s}} \rightarrow r_{\text{CO}_2(\%)s} = r_{\text{CO}_2(\%)s,\text{max}} \frac{V_{\text{pl},s,\text{min}}}{V_{\text{pl},s}}$$

Može se pisati:

$$V_{\text{pl},s} = V_{\text{pl},s,\text{min}} + (\lambda - 1)V_{\text{z},\text{min}}$$

$$V_{\text{pl},s} - V_{\text{pl},s,\text{min}} = (\lambda - 1)V_{\text{z},\text{min}}$$

Volumni udio O_2 u suhim dimnim plinovima:

$$r_{\text{O}_2(\%)s} = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{pl},s}} 100 = \frac{21(\lambda - 1)V_{\text{z},\text{min}}}{V_{\text{pl},s}} = \frac{21(V_{\text{pl},s} - V_{\text{pl},s,\text{min}})}{V_{\text{pl},s}}$$

$$r_{\text{O}_2(\%)s} = 21 \left(1 - \frac{V_{\text{pl},s,\text{min}}}{V_{\text{pl},s}} \right)$$

$$r_{\text{O}_2(\%)s} = 21 \left(1 - \frac{r_{\text{CO}_2(\%)s}}{r_{\text{CO}_2(\%)s,\text{max}}} \right)$$

Iz gornjeg izraza proizlazi **jednadžba pravca potpunog izgaranja**:

$$\frac{r_{\text{O}_2(\%)s}}{21} + \frac{r_{\text{CO}_2(\%)s}}{r_{\text{CO}_2(\%)s,\text{max}}} = 1$$

Jednadžba pravca potpunog izgaranja predstavljena je u segmentnome obliku, u koordinatnom sustavu u kojem je os $X=r_{\text{O}_2(\%)s}$ - volumni udio kisika u suhim dimnim plinovima, a os $Y=r_{\text{CO}_2(\%)s}$ - volumni udio ugljik-dioksida u suhim dimnim plinovima. Pri tome, odsječak pravca na osi X je 21, a odsječak pravca na osi Y je $r_{\text{CO}_2(\%)s,\text{max}}$.

2) POSTAVKA: IZGARANJE JE NEPOTPUNO (C→CO)

Minimalni volumen suhих dimnih plinova, pod pretpostavkom da sav ugljik izgara u ugljik-monoksid uz teoretsku količinu zraka, iznosi:

$$V_{pl,s,min}^* = 1,87m_C + 0,7m_S + 0,8m_N + 0,79V_{z,min} + V_{O,min} - V_{O,min}^*$$

gdje je:

$V_{O,min} - V_{O,min}^*$, višak kisika koji ostaje u dimnim plinovima kao posljedica nepotpuna izgaranja $C \rightarrow CO$, pri čemu minimalna (teoretska) potrebna količina kisika uz izgaranje $C \rightarrow CO$ iznosi:

$$V_{O,min}^* = 0,933m_C + 5,6 \left(m_H - \frac{m_O}{8} \right) + 0,7m_S$$

Maksimalni volumni udio ugljik-monoksida u suhim dimnim plinovima će tom slučaju biti:

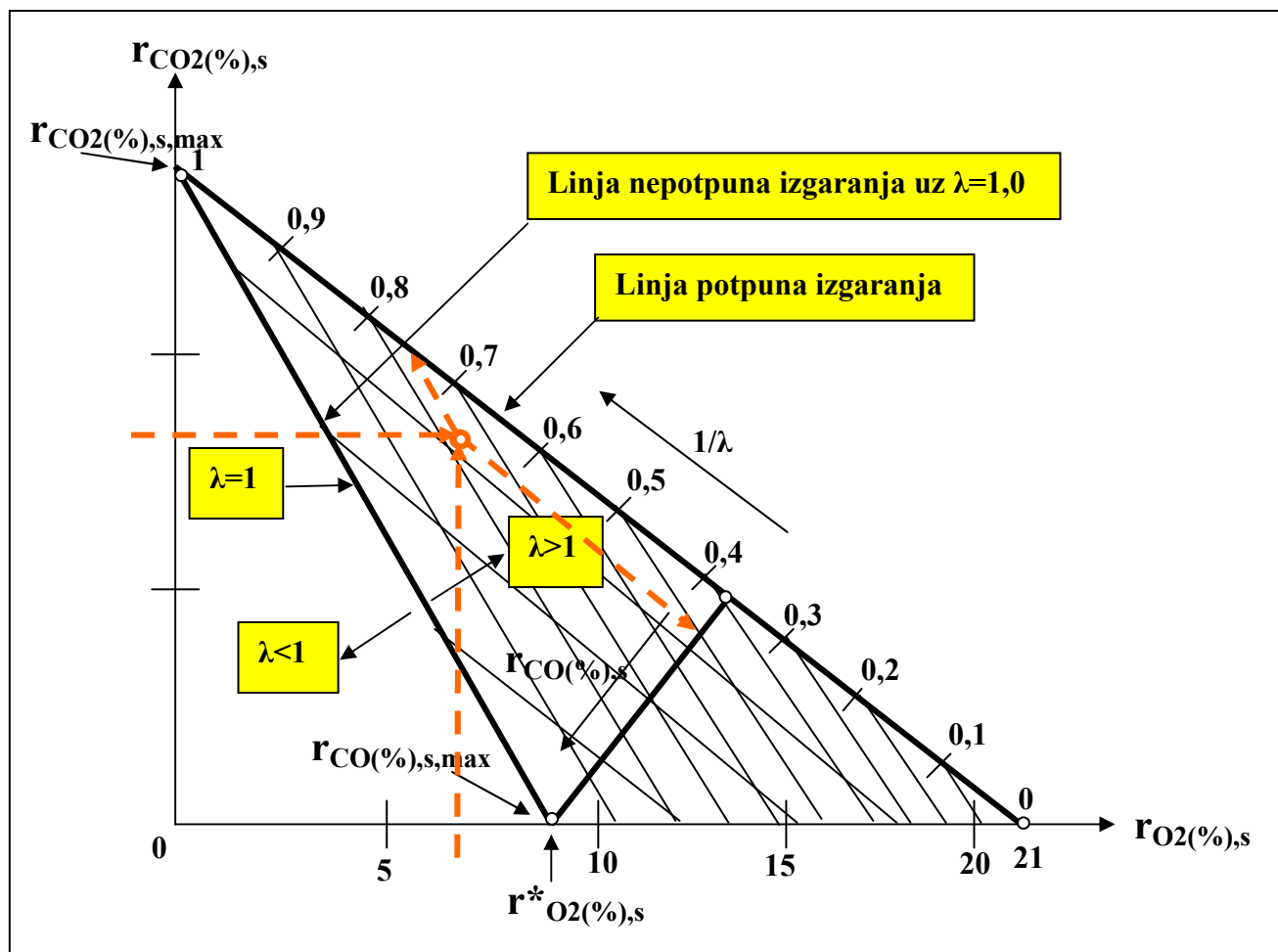
$$r_{CO(\%)s,max} = \frac{1,87m_C(\%)}{V_{pl,s,min}^*}$$

pri čemu volumni udio kisika u suhim dimnim plinovima iznosi:

$$r_{O_2(\%)s}^* = \frac{V_{O,min} - V_{O,min}^*}{V_{pl,s,min}^*} 100$$

Veličine $r_{CO_2(\%)s,max}$, $r_{CO(\%)s,max}$, $r_{O_2(\%)s}^*$ su referentne veličine na bazi kojih se za pojedinu vrstu goriva može konstruirati Ostwald-ov trokut izgaranja.

📊 Ostwald-ov trokut izgaranja

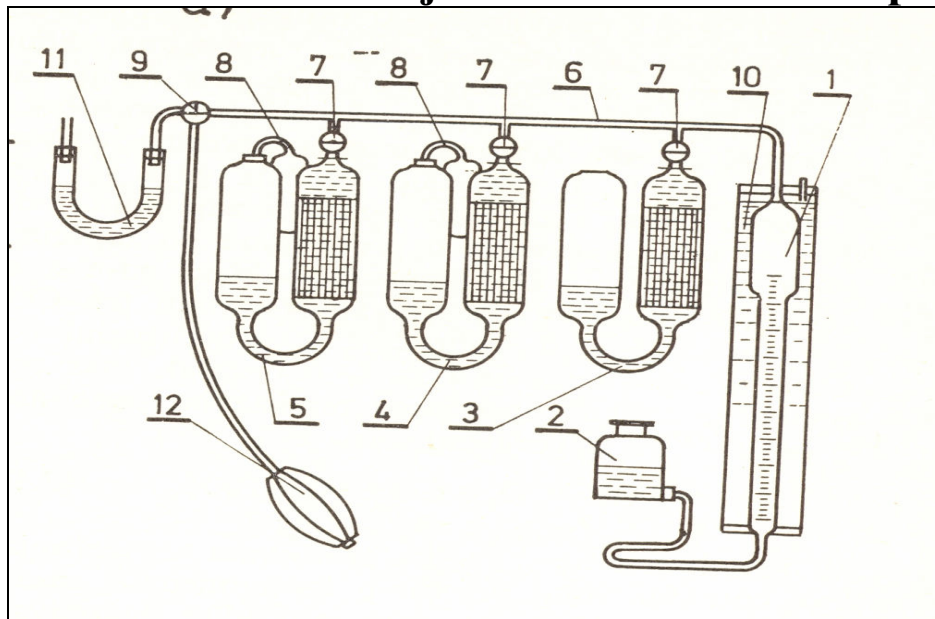


Na bazi analize dimnih plinova, odnosno volumnoga sadržaja ugljičnoga dioksida ($r_{CO_2(\%)s}$) i volumnoga sadržaja kisika ($r_{O_2(\%)s}$), iz Ostwald-ova trokuta određuje se koeficijent pretička zraka za izgaranje (λ) i volumni sadržaj ugljičnoga monoksida ($r_{CO(\%)s}$).

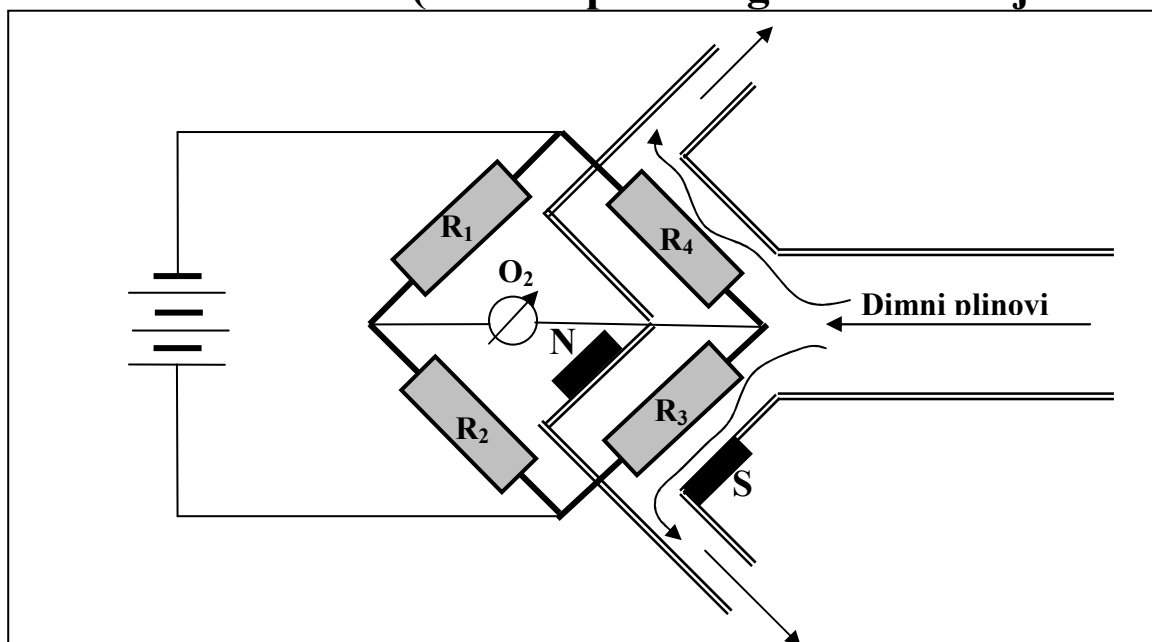
Analiza dimnih plinova vrši se analizatorima koji mogu biti:

- laboratorijski za povremena mjerenja (Orsat-ov uređaj),
- procesni analizatori za kontinuiranja mjerenja.

Orsat-ov laboratorijski analizator dimnih plinova



Procesni analizator (na bazi paramagnetičnih svojstava O₂)



Za brzo određivanje koef. pretička zraka (λ) mogu se koristiti sljedeće relacije:

$$\lambda \cong \frac{r_{\text{CO}_2(\%)s, \text{max}}}{r_{\text{CO}_2(\%)s}}$$

$$\lambda \cong \frac{21}{21 - r_{\text{O}_2(\%)s}}$$