

Spis treści

1	Przykłady rozwiązań w CalcTeX-u	1
1.1	Węgiel kamienny	1

1 Przykłady rozwiązań w CalcTeX-u

Obliczenia wykonane za pomocą pakietu CalcTeX

21 marca 2009

<http://sg.bzip.pl/CalcTeX>.

Jestem otwarty na wszelkie uwagi: CalcTeX (at) onet (dot) eu

1.1 Węgiel kamienny

Węgiel kamienny o następującym składzie masowym substancji bezpopiołowej i bezwodnej (Dry Ash Free):

$$r_C^{dry} := 79 \cdot \% , r_H^{dry} := 5 \cdot \% , r_{S_p}^{dry} := 1.1 \cdot \% , r_O^{dry} := 14 \cdot \% , r_N^{dry} := 0.9 \cdot \% ,$$

zawiera wilgoci $r_w := 6 \cdot \%$ i popiołu $r_{ash} := 10 \cdot \%$. Oblicz skład masowy węgla w stanie roboczym a następnie zapotrzebowanie powietrza do spalania oraz ilość i skład spalin wilgotnych i suchych, jeżeli liczba nadmiary powietrza $\lambda_p := 1.4$.

Obliczenia

$v_n := 22.71 \cdot \text{um}^3/\text{kmol}$ – objętość 1 kmola gazu w warunkach normalnych

Skład powietrza

$$r_{O_2 \in air} := 21 \cdot \% \text{ – udział tlenu w powietrzu} \quad r_{O_2 \in air} = 0.21$$

$$r_{N_2 \in air} := 100 \cdot \% - r_{O_2 \in air} \text{ – udział azotu w powietrzu} \quad r_{N_2 \in air} = 0.79$$

Masy molowe składników:

$$M_C := 12.011 \cdot \text{gm/mol}$$

$$M_O := 15.9994 \cdot \text{gm/mol}$$

$$M_N := 14.000674 \cdot \text{gm/mol}$$

$$M_S := 32.066 \cdot \text{gm/mol}$$

$$M_H := 1.00794 \cdot \text{gm/mol}$$

$$M_H \cdot \text{kg}^{-1}/\text{kmol}^{-1} = 1.00794$$

$$M_{H_2} := 2 \cdot M_H \quad M_{H_2} \cdot \text{gm}^{-1}/\text{mol}^{-1} = 2.01588$$

$$M_{CO} := M_C + M_O \quad M_{CO} \cdot \text{gm}^{-1}/\text{mol}^{-1} = 28.0104$$

$$M_{CO_2} := M_C + 2 \cdot M_O \quad M_{CO_2} \cdot \text{gm}^{-1}/\text{mol}^{-1} = 44.0098$$

$$M_{O_2} := 2 \cdot M_O \quad M_{O_2} \cdot \text{gm}^{-1}/\text{mol}^{-1} = 31.9988$$

$$M_{N_2} := 2 \cdot M_N \quad M_{N_2} \cdot \text{gm}^{-1}/\text{mol}^{-1} = 28.001348$$

$$M_{H_2} := 2 \cdot M_H \quad M_{H_2} \cdot \text{gm}^{-1}/\text{mol}^{-1} = 2.01588$$

$$M_{H_2O} := 2 \cdot M_H + M_O \quad M_{H_2O} \cdot \text{gm}^{-1}/\text{mol}^{-1} = 18.01528$$

Spawdzenie udziałów:

$$r_C^{dry} + r_H^{dry} + r_{S_p}^{dry} + r_O^{dry} + r_N^{dry} = 1.0$$

Udział wilgoci i popiołu wyniosi:

$$(r_w + r_{ash}) = 0.16$$

to substancja bezpopiołowa i bezwodna $r^{daf} := 1 - (r_w + r_{ash})$ stanowi $r^{daf} = 0.84$ całej masy węgla więc skład elementarny uzyskuje się, mnożąc podane wyżej udziały przez

r^{daf} :

$$\begin{aligned} r_C &:= r_C^{dry} \cdot r^{daf} & r_C \cdot \%^{-1} &= 66.36 \\ r_H &:= r_H^{dry} \cdot r^{daf} & r_H \cdot \%^{-1} &= 4.2 \\ r_{S_p} &:= r_{S_p}^{dry} \cdot r^{daf} & r_{S_p} \cdot \%^{-1} &= 0.924 \\ r_O &:= r_O^{dry} \cdot r^{daf} & r_O \cdot \%^{-1} &= 11.76 \\ r_N &:= r_N^{dry} \cdot r^{daf} & r_N \cdot \%^{-1} &= 0.756 \end{aligned}$$

Sprawdzenie:

$$r_C + r_H + r_{S_p} + r_O + r_N + r_w + r_{ash} = 1.0$$

Minimalna ilość powietrza do spalania

$$V_{air_{min}} := \frac{v_n}{r_{O_2 \in air}} \cdot \left(\frac{r_C}{M_C} + \frac{r_H}{2 \cdot M_{H_2}} - \left(\frac{r_O}{M_{O_2}} - \frac{r_{S_p}}{M_S} \right) \right); \quad V_{air_{min}} \cdot (\text{um}^3/\text{kg})^{-1} = 6.73510030536$$

rzeczywista ilość powietrza doprowadzona do spalania:

$$V_{air} := \lambda_p \cdot V_{air_{min}}; \quad V_{air} \cdot (\text{um}^3/\text{kg})^{-1} = 9.4291404275$$

Objętości poszczególnych składników spalin:

$$V_{CO_2} := v_n \cdot \frac{r_C}{M_C}; \quad V_{CO_2} \cdot (\text{um}^3/\text{kg})^{-1} = 1.25471284656$$

$$V_{H_2O} := v_n \cdot \left(\frac{r_H}{M_{H_2}} + \frac{r_w}{M_{H_2O}} \right); \quad V_{H_2O} \cdot (\text{um}^3/\text{kg})^{-1} = 0.548788957494$$

$$V_{SO_2} := v_n \cdot \frac{r_{S_p}}{M_S}; \quad V_{SO_2} \cdot (\text{um}^3/\text{kg})^{-1} = 0.0065440154681$$

$$V_{N_2} := v_n \cdot \frac{r_N}{M_{N_2}} + r_{N_2 \in air} \cdot V_{air}; \quad V_{N_2} \cdot (\text{um}^3/\text{kg})^{-1} = 7.45515234254$$

$$V_{O_2} := r_{O_2 \in air} \cdot (\lambda_p - 1) \cdot V_{air_{min}}; \quad V_{O_2} \cdot (\text{um}^3/\text{kg})^{-1} = 0.56574842565$$

Ilość powstających spalin:

$$V_{fumes} := V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2}; \quad V_{fumes} \cdot (\text{um}^3/\text{kg})^{-1} = 9.83094658771$$

Ilość spalin suchych

$$V_{fumes}^{dry} := V_{fumes} - V_{H_2O}; \quad V_{fumes}^{dry} \cdot (\text{um}^3/\text{kg})^{-1} = 9.28215763022$$

Skład spalin wilgotnych (wet)

$$\begin{aligned} r_{CO_2}^{wet} &:= V_{CO_2}/V_{fumes} & r_{CO_2}^{wet} \cdot \%^{-1} &= 12.7628894671 \\ r_{H_2O}^{wet} &:= V_{H_2O}/V_{fumes} & r_{H_2O}^{wet} \cdot \%^{-1} &= 5.58225957793 \\ r_{SO_2}^{wet} &:= V_{SO_2}/V_{fumes} & r_{SO_2}^{wet} \cdot \%^{-1} &= 0.066565466608 \\ r_{N_2}^{wet} &:= V_{N_2}/V_{fumes} & r_{N_2}^{wet} \cdot \%^{-1} &= 75.8335148709 \\ r_{O_2}^{wet} &:= V_{O_2}/V_{fumes} & r_{O_2}^{wet} \cdot \%^{-1} &= 5.75477061748 \end{aligned}$$

Sprawdzenie:

$$r_{CO_2}^{wet} + r_{H_2O}^{wet} + r_{SO_2}^{wet} + r_{N_2}^{wet} + r_{O_2}^{wet} = 1.0$$

Skład spalin suchych (dry)

$$r_{CO_2}^{dry} := V_{CO_2}/V_{fumes}^{dry} \quad r_{CO_2}^{dry} \cdot \%^{-1} = 13.5174697149$$

$$r_{SO_2}^{dry} := V_{SO_2} / V_{fumes}^{dry}$$

$$r_{N_2}^{dry} := V_{N_2} / V_{fumes}^{dry}$$

$$r_{O_2}^{dry} := V_{O_2} / V_{fumes}^{dry}$$

$$r_{SO_2}^{dry} \cdot \%^{-1} = 0.0705010163455$$

$$r_{N_2}^{dry} \cdot \%^{-1} = 80.3170193778$$

$$r_{O_2}^{dry} \cdot \%^{-1} = 6.09500989089$$

Sprawdzenie:

$$r_{CO_2}^{dry} + r_{SO_2}^{dry} + r_{N_2}^{dry} + r_{O_2}^{dry} = 1.0$$

`{\scriptsize`

`% Copyright CalcTeX@onet.eu`

`Obliczenia wykonane za pomoca pakietu`

`\linkurl{http://sg.bzip.pl/CalcTeX}{CalcTeX} \hfill \today\`

`\linkurl{http://sg.bzip.pl/CalcTeX}{http://sg.bzip.pl/CalcTeX}.\`

`Jestem otwarty na wszelkie uwagi:`

`\EmailToCalcTeX}`

`%\newcommand{\propan}{\rm C_3H_8}`

`%\newcommand{\butan}{\rm C_4H_{10}}`

`%\newcommand{\woda}{\rm H_2O}`

`%\newcommand{\codwa}{\rm CO_2}`

`%\newcommand{\rwet}{r^{wet}}`

`%\newcommand{\rdry}{r^{dry}}`

`%\newcommand{\rwil}{r^{wil}}`

`%\newcommand{\rsuch}{r^{such}}`

`%\newcommand{\rdaf}{r^{daf}}`

`%\newcommand{\Vdaf}{V^{daf}}`

`%\newcommand{\Vdry}{V^{dry}}`

`\Zadanie{Węgiel kamienny}`

`Węgiel kamienny o następującym składzie masowym substancji bezpopiołowej i bezwodnej (Dry Ash Free):\`

`$\rdry_C := 79 \cdot \text{\percent}, "$`

`$\rdry_H := 5 \cdot \text{\percent}, "$`

`$\rdry_{S_p} := 1.1 \cdot \text{\percent}, "$`

`$\rdry_O := 14 \cdot \text{\percent}, "$`

`$\rdry_N := 0.9 \cdot \text{\percent}, "$\`

`zawiera wilgoci $r_w := 6 \cdot \text{\percent}$ i popiołu $r_{ash} := 10 \cdot \text{\percent}."$`

`Oblicz skład masowy węgla w stanie roboczym a następnie zapotrzebowanie powietrza`

`do spalania oraz ilość i skład spalin wilgotnych i suchych, jeżeli liczba nadmiary powietrza`

`$\lambda_p := 1.4."$`

`\Obliczenia{}`

`$v_n := 22.71 \cdot \text{\um}^3 / \text{\kmo}l$ -- objętość 1 kmola gazu w warunkach normalnych\`

`Skład powietrza\`

`$r_{O_2 \text{\in air}} := 21 \cdot \text{\percent}$ -- udział tlenu w powietrzu \hfill $r_{O_2 \text{\in air}} $\`

`$r_{N_2 \text{\in air}} := 100 \cdot \text{\percent} - r_{O_2 \text{\in air}}$ -- udział azotu w powietrzu \hfill $r_{N_2 \text{\in air}} $\`

`Masy molowe składników:\`

`$M_C := 12.011 \cdot \text{\gm} / \text{\mol} $\`

`$M_O := 15.9994 \cdot \text{\gm} / \text{\mol} $\`

```

$M_{N} := 14.000674\cdot \text{gm/mol}\$ \\\
$M_{S} := 32.066 \cdot \text{gm/mol}\$ \\\
$M_{H} := 1.00794 \cdot \text{gm/mol}\$ \hfill $M_{H}\cdot \text{okg/okmol}\$ \\\
%---
%$M_{C}:= 12 \cdot \text{gm/mol}\$ \\\ $M_{O} := 16 \cdot \text{gm/mol}\$ \\\ $M_{N} := 14.000\cdot \text{gm/mol}\$ \\\
%---
$M_{H_2} := 2\cdot M_{H}\$ \cdot \text{dotfill } $M_{H_2}\cdot \text{ogm/omol}\$ \\\
$M_{CO} := M_{C}+M_{O}\$ \cdot \text{dotfill } $M_{CO}\cdot \text{ogm/omol}\$ \\\
$M_{CO_2}:= M_{C}+2\cdot M_{O}\$ \cdot \text{dotfill } $M_{CO_2}\cdot \text{ogm/omol}\$ \\\
$M_{O_2} := 2\cdot M_{O}\$ \cdot \text{dotfill } $M_{O_2}\cdot \text{ogm/omol}\$ \\\
$M_{N_2} := 2\cdot M_{N}\$ \cdot \text{dotfill } $M_{N_2}\cdot \text{ogm/omol}\$ \\\
$M_{H_2} := 2\cdot M_{H}\$ \cdot \text{dotfill } $M_{H_2}\cdot \text{ogm/omol}\$ \\\
$M_{H_2O}:= 2\cdot M_{H}+M_{O}\$ \cdot \text{dotfill } $M_{H_2O}\cdot \text{ogm/omol}\$ \\\
%$M_{CH_4} := M_{C}+4\cdot M_{H}\$ \cdot \text{dotfill } $M_{CH_4}\cdot \text{ogm/omol}\$ \% \\\
Sprawdzenie udziałów:
\[ \text{rdry}_C + \text{rdry}_H + \text{rdry}_{S_p} + \text{rdry}_O + \text{rdry}_N \]
Udział wilgoci i popiołu wyniesi:
\[ \left( r_w + r_{ash} \right) \]
to substancja bezpopiołowa i bezwodna $\rdaf := 1 - \left( r_w + r_{ash} \right)$
stanowi $\rdaf$ całej masy węgla więc skład elementarny uzyskuje się,
mnożąc podane wyżej udziały przez "$\rdaf:$"
\\
$ r_C := \text{rdry}_C \cdot \rdaf \cdot \% \\\
$ r_H := \text{rdry}_H \cdot \rdaf \cdot \% \\\
$ r_{S_p} := \text{rdry}_{S_p} \cdot \rdaf \cdot \% \\\
$ r_O := \text{rdry}_O \cdot \rdaf \cdot \% \\\
$ r_N := \text{rdry}_N \cdot \rdaf \cdot \% \\\
Sprawdzenie:
\[ r_C + r_H + r_{S_p} + r_O + r_N + r_w + r_{ash} \]
Minimalna ilość powietrza do spalania
%$r_{O_2\{in\}air}:=.21\$
\[
%V_{air_{min}}:=\frac{v_n}{0.21}\cdot \left( \frac{r_C}{M_C} + \frac{r_H}{2\cdot M_{H_2}} - \frac{r_{O_2\{in\}air}}{r_{O_2\{in\}air}} \right) \cdot \left( \frac{r_C}{M_C} + \frac{r_H}{2\cdot M_{H_2}} \right) \cdot \left( \frac{v_n}{0.21} \right) \cdot \left( \frac{1}{\text{kg}} \right)^{-1} \]
rzeczywista ilość powietrza doprowadzona do spalania:
\[ V_{air} := \lambda_p \cdot V_{air_{min}} \]
";\;\;"
V_{air}\cdot \left( \frac{1}{\text{kg}} \right)^{-1} \]

%Ilość powstających spalin:
%\[
%V_{fumes}:=v_n\cdot \left( \frac{r_C}{12} + \frac{r_H}{2} + \frac{r_w}{18} \right) + \frac{r_{S_p}}{M_{S_p}} \cdot \left( \frac{1}{\text{kg}} \right)^{-1} \]
%";\;\;"
%V_{fumes}\cdot \left( \frac{1}{\text{kg}} \right)^{-1} \]
%Ilość wody
%\[
%V_{H_2O}:=v_n\cdot \left( \frac{r_H}{2} + \frac{r_w}{18} \right) \cdot \left( \frac{1}{\text{kg}} \right)^{-1} \]

```

```

%V_{H_20}:=v_n\cdot \left( \frac{r_H}{M_{H_2}}+\frac{r_w}{M_{H_20}}\right)
";\;\;\;"
%V_{H_20}\cdot (\um^3/kg)^{-1}
%\]
%
%\[
%V_{H_20}:=v_n\cdot \left( \frac{r_H}{2}+\frac{r_w}{18}\right)
";\;\;\;\;"
%V_{H_20}\cdot (\um^3/kg)^{-1}\]
Objętości poszczególnych składników spalin:
\[
V_{CO_2}:=v_n\cdot\frac{r_C}{M_{C}}
";\;\;\;\;"
V_{CO_2}\cdot (\um^3/kg)^{-1}
\]
\[
%V_{H_20}:=v_n\cdot \left( \frac{r_H}{2}+\frac{r_w}{18}\right)
V_{H_20}:=v_n\cdot \left( \frac{r_H}{M_{H_2}}+\frac{r_w}{M_{H_20}}\right)
";\;\;\;\;"
V_{H_20}\cdot (\um^3/kg)^{-1}
\]
\[
V_{SO_2}:=v_n\cdot\frac{r_{S_p}}{M_{S}}
";\;\;\;\;"
V_{SO_2}\cdot (\um^3/kg)^{-1}
\]
\[
%V_{N_2}:=v_n\cdot \frac{r_N}{M_{N_2}}+0.79\cdot V_{air}
V_{N_2}:=v_n\cdot \frac{r_N}{M_{N_2}}+r_{N_2\inair}\cdot V_{air}
";\;\;\;\;"
V_{N_2}\cdot (\um^3/kg)^{-1}\]

\[
V_{O_2}:=r_{O_2\inair}\cdot\left( \lambda_{p-1}\right)\cdot V_{air_{min}}
";\;\;\;\;"
V_{O_2}\cdot (\um^3/kg)^{-1}\]
Ilość powstających spalin:
\[
V_{fumes}:=V_{CO_2} +V_{H_20}+ V_{SO_2} +V_{N_2}+V_{O_2}
%+0.79\cdot V_{air}+0.21\cdot(\lambda_{p-1})\cdot V_{air_{min}}
";\;\;\;\;"
V_{fumes}\cdot (\um^3/kg)^{-1}\]

Ilość spalin suchych
\[
\Vdry_{fumes}:=V_{fumes}-V_{H_20}
";\;\;\;\;"
\Vdry_{fumes}\cdot (\um^3/kg)^{-1}
\]

```

Skład spalin wilgotnych (wet)\

$$\% \text{\rwet}_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{fumes}}}$$

$$\text{\rwet}_{\text{CO}_2} = V_{\text{CO}_2} / V_{\text{fumes}}$$

$$\% \text{\rwet}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\text{fumes}}}$$

$$\text{\rwet}_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}} / V_{\text{fumes}}$$

$$\% \text{\rwet}_{\text{SO}_2} = \frac{V_{\text{SO}_2}}{V_{\text{fumes}}}$$

$$\text{\rwet}_{\text{SO}_2} = V_{\text{SO}_2} / V_{\text{fumes}}$$

$$\% \text{\rwet}_{\text{N}_2} = \frac{V_{\text{N}_2}}{V_{\text{fumes}}}$$

$$\text{\rwet}_{\text{N}_2} = V_{\text{N}_2} / V_{\text{fumes}}$$

$$\% \text{\rwet}_{\text{O}_2} = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{fumes}}}$$

$$\text{\rwet}_{\text{O}_2} = V_{\text{O}_2} / V_{\text{fumes}}$$

Sprawdzenie:

$\text{\rwet}_{\text{CO}_2} + \text{\rwet}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{\rwet}_{\text{SO}_2} + \text{\rwet}_{\text{N}_2} + \text{\rwet}_{\text{O}_2} = 1$

Skład spalin suchych (dry)\

$$\% \text{\rdry}_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{dry}}}$$

$$\text{\rdry}_{\text{CO}_2} = V_{\text{CO}_2} / V_{\text{dry}}$$

$$\% \text{\rdry}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\text{dry}}}$$

$$\text{\rdry}_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}} / V_{\text{dry}}$$

$$\% \text{\rdry}_{\text{SO}_2} = \frac{V_{\text{SO}_2}}{V_{\text{dry}}}$$

$$\text{\rdry}_{\text{SO}_2} = V_{\text{SO}_2} / V_{\text{dry}}$$

$$\% \text{\rdry}_{\text{N}_2} = \frac{V_{\text{N}_2}}{V_{\text{dry}}}$$

$$\text{\rdry}_{\text{N}_2} = V_{\text{N}_2} / V_{\text{dry}}$$

$$\% \text{\rdry}_{\text{O}_2} = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{dry}}}$$

$$\text{\rdry}_{\text{O}_2} = V_{\text{O}_2} / V_{\text{dry}}$$

Sprawdzenie:

$\text{\rdry}_{\text{CO}_2} + \text{\rdry}_{\text{SO}_2} + \text{\rdry}_{\text{N}_2} + \text{\rdry}_{\text{O}_2} = 1$