

Wstępne obliczenia cieplne i przepływowe węglowego palnika wirowego

e-mail: CalcTeX at onet dot eu
strona: <http://sg.bzip.pl/CalcTeX>

26 października 2008

Spis treści

1	Obliczenia cieplne palnika węglowego	2
2	Dane	2
2.1	Skład węgla	2
2.2	Stałe	2
3	Obliczenia	2
3.1	Skład węgla	2
3.1.1	Stan roboczy	3
3.2	Wartość opałowa paliwa	3
3.3	Strumień pyłu węglowego do palnika	3
3.4	Zapotrzebowanie powietrza	4
3.4.1	Nomenklatura dla podziału powietrza	4
3.4.2	Jednostkowe zapotrzebowanie powietrza	4
3.4.3	Ilość powstających spalin	5
3.4.4	Oszacowanie poziomu emisji SO ₂	6
3.4.5	Całkowity strumień powietrza dostarczony do kotła	6
3.4.6	Mieszanka pyłowo powietrzna na jeden palnik pracujący	6
3.5	Koncentracja mieszanki pyłowej	6
3.6	Obliczania objętościowych strumieni przepływu dla jednego palnika	6
3.6.1	Strumień powietrza pierwotnego dla jednego palnika	6
3.6.2	Strumień powietrza rdzeniowego	7
3.6.3	Strumień powietrza trzeciego	7
3.6.4	Strumień powietrza drugiego	7
3.6.5	Uwzględnienie doosania powietrza przez lej kotła	7
3.6.6	Strumień powietrza chłodzącego do palników rezerwowych	7
3.6.7	Rzeczywisty strumień powietrza na jeden pracujący palnik	7
3.6.8	Rzeczywisty współczynnik nadmiaru powietrza dla kotła	8
3.7	Obliczenia geometrii palnika	8
3.8	Powierzchnie wypływu	9
3.8.1	Pole przekroju dyszy powietrza rdzeniowego	9
3.8.2	Pole przekroju dyszy powietrza pierwotnego	9
3.8.3	Pole przekroju dysz powietrza drugiego	10
3.8.4	Pole przekroju dysz powietrza trzeciego	10
3.9	Zapotrzebowanie na sprężenie	11
3.9.1	Powietrze pierwotne	11
3.9.2	Powietrze drugie	11
3.9.3	Powietrze trzecie	11
4	Podsumowanie	11

ver calc r4c, Ostatnia zmiana: 2008-11-25 12:30, kompilacja: 26 października 2008..sgh.

Obliczenia wykonano za pomocą pakietu CalcTeX dostępnego na stronie:

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

1 Obliczenia cieplne palnika węglowego

Założenia

Kocioł: OP-230

$n_p := 8.0$ – całkowita ilość palników,

$n_r := 2.0$ – ilość palników w rezerwie,

$d_{powlej} := 2.0 \cdot \%$ – dosowanie powietrza przez lej w stosunku do całkowitej ilości powietrza

$k_{ch} := 15.0 \cdot \%$ – zapotrzebowanie powietrza do chłodzenia palnika w rezerwie $10\% \div 20\%$ powietrza (suma drugiego i trzeciego).

2 Dane

$P_c := 30.00 \cdot [\text{MW}]$ – Moc cieplna jednego palnika

$P_c \cdot [\text{MW}] = 30.0$

2.1 Skład węgla

Zastosowano węgiel kamienny o następującym składzie bezpopiołowym i bezwodnym (Dry Ash Free):

$r_{Cdaf} := 79.0 \cdot \% \dots\dots\dots r_{Cdaf} \cdot \% = 79.0$

$r_{Hdaf} := 5.0 \cdot \% \dots\dots\dots r_{Hdaf} = 0.05$

$r_{Sdaf} := 1.1 \cdot \% \dots\dots\dots r_{Sdaf} = 0.011$

$r_{Ndaf} := 0.9 \cdot \%; \dots\dots\dots r_{Ndaf} = 0.009$

$r_{Odaf} := 14.0 \cdot \%; \dots\dots\dots r_{Odaf} = 0.14$

$r_w := 20.0 \cdot \%$ – wilgotność całkowita (po urobieniu)

$r_{Ash} := 10.0 \cdot \%$ – popiół

2.2 Stałe

$\pi := 3.14159265358979$

3 Obliczenia

3.1 Skład węgla

Sprawdzenie:

$$\sum_i r_{i,daf} = (r_{Cdaf} + r_{Hdaf} + r_{Sdaf} + r_{Ndaf} + r_{Odaf}) \cdot \% = 100.0 \quad (1)$$

Udział wilgoci i popioły w składzie węgla wynosi:

$$r_{wa} := r_{Ash} + r_w$$

Oznacza to, że substancja bezpopiołowa i bezwodna (Dry Ash Free) wynosi:

$$r_{daf} := 100.0 \cdot \% - (r_{Ash} + r_w) \quad r_{daf} \cdot \% = 70.0.$$

3.1.1 Stan roboczy

$$\begin{aligned}
 r_C &:= r_{Cdaf} \cdot r_{daf} \dots\dots\dots r_C \cdot \% = 55.3 \\
 r_H &:= r_{Hdaf} \cdot r_{daf} \dots\dots\dots r_H \cdot \% = 3.5 \\
 r_S &:= r_{Sdaf} \cdot r_{daf} \dots\dots\dots r_S \cdot \% = 0.77 \\
 r_N &:= r_{Ndaf} \cdot r_{daf} \dots\dots\dots r_N \cdot \% = 0.63 \\
 r_O &:= r_{Odaf} \cdot r_{daf} \dots\dots\dots r_O \cdot \% = 9.8 \\
 \text{Sprawdzenie:}
 \end{aligned}$$

$$\sum_i r_i = (r_C + r_H + r_S + r_N + r_O + r_w + r_{Ash}) \cdot \% = 100.0 \quad (2)$$

Uwaga:

- wilgotność całkowita podana w węglu bezpośrednio po urobieniu, sortymenty płukania zawierają 2% ÷ 6% wilgoci więcej
- wartość opałowia węgla roboczego podana jest dla maksymalnej zawartości wilgoci i przy założeniu, że zawartość substancji mineralnej jest średnio o 12% większa od zawartości popiołu. Węgłe rynkowe zawierają mniej wilgoci, a tym samym są wyżej kaloryczne.

3.2 Wartość opałowia paliwa

W przypadku gdy nie jest znana wartość opałowia węgla można ją oszacować na podstawie wzóru Dulonga (3):

$$Q_{wr} := \left(32800.0 \cdot r_C + 120600.0 \cdot \left(r_H - \frac{r_O}{8.0} \right) + 9300.0 \cdot r_S - 2500.0 \cdot r_w \right) \cdot [\text{kJ}] / [\text{kg}] \quad (3)$$

czy wzoru Związku Niemieckich Inżynierów (VDI) (4):

$$Q_i := \left(33900.0 \cdot r_C + 144030 \cdot \left(r_H - \frac{r_O}{8.0} \right) + 10400.0 \cdot r_S - 2550 \cdot (r_w + 9.0 \cdot r_H) \right) \cdot \frac{[\text{kJ}]}{[\text{kg}]} \quad (4)$$

$Q_{wr} \cdot [\text{MJ}] / [\text{kg}] = 20.45366$ – wartość opałowia przyjęta do dalszych obliczeń na podstawie zależności Dulonga (3).

$Q_i \cdot [\text{MJ}] / [\text{kg}] = 20.7902125$ – wartość opałowia wyliczona z zależności VDI (4).

3.3 Strumień pyłu węglowego do palnika

$$P = \frac{W}{\tau} = \frac{q \cdot m}{\tau} = q \cdot \dot{m} \Leftrightarrow \dot{m} = \frac{P}{q} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 \dots\dots\dots P_c \cdot [\text{MW}] &= 30.0 \\
 \dots\dots\dots Q_{wr} \cdot [\text{MJ}] / [\text{kg}] &= 20.45366
 \end{aligned}$$

$$\dot{m}_{rt} := \frac{P_c}{Q_{wr}}; \quad \dot{m}_{rt} \cdot [\text{kg}] / [\text{s}] = 1.46673015979 \quad (6)$$

Komentarz:

w związku tym, że wydajność młyna zmniejsza się ze zmianą jakości paliwa zostaje przyjęty współczynnik przeliczeniowy $k_{mill} := 98.0 \cdot \%$

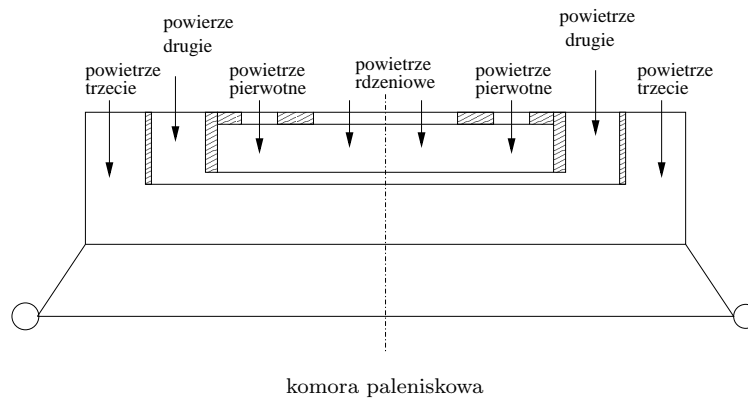
$$\dot{m}_{rt} = 1.46673015979 \text{ [kg/s]}, \quad \dot{m}_{rt} \cdot [\text{ton}] / [\text{hr}] = 5.28022857523 \quad (7)$$

$$\dot{m}_m := k_{mill} \cdot \dot{m}_{rt}; \quad \dot{m}_m = 1.43739555659 \text{ [kg/s]}$$

3.4 Zapotrzebowanie powietrza

3.4.1 Nomenklatura dla podziału powietrza

Dla niskoemisyjnych palników wirowych powietrze dzielimy tak jak na rysunku 1 ze str. 4. Dodatkowo powietrze drugie i trzecie nazywane jest powietrzem wtórnym tak jak dla tradycyjnych – „wysokoemisyjnych palników węglowych”.



Rysunek 1: Podział powietrza dla niskoemisyjnego węglowego palnika wirowego – schemat palnika, widok z góry

3.4.2 Jednostkowe zapotrzebowanie powietrza

Teoretyczne zapotrzebowanie powietrza do spalania całkowitego i zupełnego:

$$V_{pmin} := \frac{22.71}{0.21} \cdot \left(\frac{r_C}{12.0} + \frac{r_H - (r_O - r_S)/8.0}{4.0} \right); \quad V_{pmin} = 5.62466770833 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{kg}_{fuel}} \right]$$

gdzie:

$[\text{m}_n^3]$ – normalny metr sześcienny, dla temperatury $T_n := 273.15 \text{ K (} 0^\circ\text{C)}$, i ciśnienia $p_n := 760.0 \cdot [\text{torr}] \dots \dots \dots p_n \cdot [\text{hPa}] = 1013.25$

$$V_{pt} := V_{pmin}; \quad V_{pt} = 5.62466770833 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{kg}} \right] \quad (8)$$

Jeśli dla wyliczenia minimalnego zapotrzebowanie powietrza do spalania całkowitego i zupełnego używamy jest skład węgla suchego i bezpopiowego, to wówczas ze względu na zawartość wilgoci w węglu, należy użyć współczynnika przeliczeniowego $k_w := 1.0 - (r_w)$,

natomiast jeśli, jak w naszym przypadku, zastosowaliśmy skład rzeczywisty to wówczas współczynnik przeliczeniowy będzie wynosił $k_w := 1.0$, ogólnie zaś zapiszemy:

$$V_{ptr} := k_w \cdot V_{pt}; \quad V_{ptr} = 5.62466770833 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{kg}} \right] \quad (9)$$

Ze współczynnikiem nadmiaru powietrza dla jednego palnika $\lambda_p := 1.4$,

$$V_{ptp} := \lambda_p \cdot V_{ptr}; \quad V_{ptp} = 7.87453479167 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{kg}} \right] \quad (10)$$

3.4.3 Ilość powstających spalin

Ilość powstających spalin wilgotnych

$$V_{sp} := 22.71 \cdot \left(\frac{r_C}{12.0} + \left(\frac{r_H}{2.0} + \frac{r_w}{18.0} \right) + \frac{r_S}{32.0} + \frac{r_N}{28.0} \right) + 0.79 \cdot V_{ptp} + 0.21 \cdot (\lambda_p - 1.0) \cdot V_{pmin} \quad (11)$$

..... $V_{sp} \cdot [\text{m}]^3 / [\text{kg}] = 8.40023975$
 Ilość wody w spalinach

$$V_{h_2o} := 22.71 \cdot \left(\frac{r_H}{2.0} + \frac{r_w}{18.0} \right); \quad V_{h_2o} \cdot [\text{m}]^3 / [\text{kg}] = 0.649758333333$$

Ilość spalin suchych

$$V_{sp_{such}} := V_{sp} - V_{h_2o}; \quad V_{sp_{such}} \cdot [\text{m}]^3 / [\text{kg}] = 7.75048141667$$

Objętości poszczególnych składników spalin:

$V_{CO_2} := 22.71 \cdot r_C / 12.0$	$V_{CO_2} \cdot [\text{m}]^3 / [\text{kg}] = 1.0465525$
$V_{h_2o} := 22.71 \cdot (r_H / 2.0 + r_w / 18.0)$	$V_{h_2o} \cdot [\text{m}]^3 / [\text{kg}] = 0.649758333333$
$V_{SO_2} := 22.71 \cdot r_S / 32.0$	$V_{SO_2} \cdot [\text{m}]^3 / [\text{kg}] = 0.00546459375$
$V_{N_2} := 22.71 \cdot r_N / 28.0 + 0.79 \cdot V_{ptp}$	$V_{N_2} \cdot [\text{m}]^3 / [\text{kg}] = 6.22599223542$
$V_{O_2} := 0.21 \cdot (\lambda_p - 1) \cdot V_{pmin}$	$V_{O_2} \cdot [\text{m}]^3 / [\text{kg}] = 0.4724720875$

$$(V_{CO_2} + V_{h_2o} + V_{SO_2} + V_{N_2} + V_{O_2}) \cdot [\text{m}]^3 / [\text{kg}] = 8.40023975; \quad V_{sp} \cdot [\text{m}]^3 / [\text{kg}] = 8.40023975$$

Skład spalin wilgotnych:

$r_{CO_2} := V_{CO_2} / V_{sp}$	$r_{CO_2} \cdot \% = 12.458602744$
$r_{h_2o} := V_{h_2o} / V_{sp}$	$r_{h_2o} \cdot \% = 7.73499748425$
$r_{SO_2} := V_{SO_2} / V_{sp}$	$r_{SO_2} \cdot \% = 0.0650528307838$
$r_{N_2} := V_{N_2} / V_{sp}$	$r_{N_2} \cdot \% = 74.1168397654$
$r_{O_2} := V_{O_2} / V_{sp}$	$r_{O_2} \cdot \% = 5.62450717552$

$$r_{CO_2} + r_{h_2o} + r_{SO_2} + r_{N_2} + r_{O_2} = 1.0$$

Skład spalin suchych – dry:

$V_{flue_d} := V_{sp_{such}}$	
$r_{CO_2d} := V_{CO_2} / V_{flue_d}$	$r_{CO_2d} \cdot \% = 13.5030644387$
$r_{SO_2d} := V_{SO_2} / V_{flue_d}$	$r_{SO_2d} \cdot \% = 0.0705065073538$
$r_{N_2d} := V_{N_2} / V_{flue_d}$	$r_{N_2d} \cdot \% = 80.3303936969$
$r_{O_2d} := V_{O_2} / V_{flue_d}$	$r_{O_2d} \cdot \% = 6.09603535703$

$$r_{CO_2d} + r_{SO_2d} + r_{N_2d} + r_{O_2d} = 1.0$$

3.4.4 Oszacowanie poziomu emisji SO₂

$$m_{so_2 \max} := 200.0 \cdot [\text{gm}]$$

$e_{so_2 \max} := m_{so_2 \max} / [\text{GJ}]$ – maksymalna emisja SO₂ przypadająca na GJ energii.

$$n_{so_2} := V_{so_2} / 22.71 \qquad n_{so_2} = 0.000240625$$

$$M_{so_2} := 64.0 \dots\dots\dots M_{so_2} = 64.0$$

$$m_{so_2} := n_{so_2} \cdot M_{so_2}; \quad m_{so_2} \cdot [\text{gm}] / [\text{kg}] = 15.4 \text{ masa } SO_2 / (\text{masa paliwa})$$

Emisja rzeczywista SO₂

$$e_{so_2} := \frac{m_{so_2}}{Q_{wr}}; \quad e_{so_2} \cdot \frac{[\text{gm}]}{[\text{GJ}]} = 752.921482023$$

Redukcja SO₂ :

$$R_{so_2} := (e_{so_2} - e_{so_2 \max}) / e_{so_2} \quad R_{so_2} \cdot \% = 73.4368051948$$

czyli należy usunąć ze spalin conajmniej $R_{so_2} \cdot \% = 73.4368051948$ siarki by zachować normy emisyjne.

3.4.5 Całkowity strumień powietrza dostarczony do kotła

$$\dots\dots\dots \dot{m}_m = 1.43739555659 [\text{kg/s}],$$

$$\dots\dots\dots \dot{m}_m \cdot [\text{ton}] / [\text{hr}] = 5.17462400372,$$

$$\dots\dots\dots V_{ptp} = 7.87453479167 [\text{m}_n^3/\text{kg}],$$

$$n_w := n_p - n_r \qquad n_w = 6.0 \text{ – ilość pracujących palników}$$

$$\dot{V}_{pkd} := V_{ptp} \cdot \dot{m}_m \cdot n_w; \quad \dot{V}_{pkd} = 67.9129279185 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{s}} \right] \qquad (12)$$

3.4.6 Mieszanka pyłowo powietrzna na jeden palnik pracujący

$$n_w = 6.0$$

$$\dot{V}_{pp1} := \frac{\dot{V}_{pkd}}{n_w}; \quad \dot{V}_{pp1} = 11.3188213198 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{s}} \right] \qquad (13)$$

3.5 Koncentracja mieszanki pyłowej

Dla temperatury mieszaniny $t_m := 90 \cdot ^\circ \text{C}$ koncentracja mieszaniny pyłowej wynosi:

$$c_{pyl} := 0.5 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

3.6 Obliczania objętościowych strumieni przepływu dla jednego palnika

3.6.1 Strumień powietrza pierwotnego dla jednego palnika

$$\dot{m}_m = 1.43739555659 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]; \quad \dot{V}_{pow1} := \frac{\dot{m}_m}{c_{pyl}}; \quad \dot{V}_{pow1} = 2.87479111318 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{s}} \right]$$

3.6.2 Strumień powietrza rdzeniowego

Założenie:

powietrze rdzeniowe wynosi $k_{pr} := 10.0 \cdot \%$ powietrza pierwotnego:

$$\dot{V}_{pow1} = 2.87479111318 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{V}_{powr} := k_{pr} \cdot \dot{V}_{pow1}; \quad \dot{V}_{powr} = 0.287479111318 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{s}} \right] \quad (14)$$

3.6.3 Strumień powietrza trzeciego

$$k_{pow3} := 85.0 \cdot \%$$

$$\dot{V}_{pow3} := k_{pow3} \cdot (\dot{V}_{pp1} - \dot{V}_{pow1}); \quad \dot{V}_{pow3} = 7.17742567559 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{s}} \right]$$

3.6.4 Strumień powietrza drugiego

$$k_{pow2} := 15.0 \cdot \%$$

$$\dot{V}_{pow2} := k_{pow2} \cdot (\dot{V}_{pp1} - \dot{V}_{pow1}); \quad \dot{V}_{pow2} = 1.26660453099 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{s}} \right], \quad \dot{V}_{pow2} \cdot [\text{m}]^3 / [\text{hr}] = 4559.77631155$$

3.6.5 Uwzględnienie dosiania powietrza przez lej kotła

Założenie:

dosianie przez lej kotła stanowi $k_{dossllej} := 5.0 \cdot \%$ całkowitej ilości powietrza dostarczonego do kotła

$$\Delta \dot{V}_k := k_{dossllej} \cdot \dot{V}_{pkd}; \quad \Delta \dot{V}_k = 3.39564639593 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{s}} \right]; \quad \Delta \dot{V}_k \cdot [\text{m}] / [\text{hr}] = 12224.3270253$$

3.6.6 Strumień powietrza chłodzącego do palników rezerwowych

Założenie:

powietrze chłodzące stanowi $k_{ch} := 15.0 \cdot \%$ powietrza drugiego i trzeciego

$$\dot{V}_{ch} := (\dot{V}_{pow2} + \dot{V}_{pow3}) \cdot k_{ch} \cdot n_r; \quad \dot{V}_{ch} = 2.53320906197 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{s}} \right]$$

strumień powietrza dostarczonego do palnika pracującego po uwzględnieniu powietrza dosianego do kotła oraz powietrza chłodzącego do palników rezerwowych

$$\sum \dot{V}_{pprac} := \dot{V}_{pkd} - \Delta \dot{V}_k - \dot{V}_{ch}; \quad \sum \dot{V}_{pprac} = 61.9840724606 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{s}} \right]$$

3.6.7 Rzeczywisty strumień powietrza na jeden pracujący palnik

$$\dot{V}_{pp2} := \frac{\sum \dot{V}_{pprac}}{n_w}; \quad \dot{V}_{pp2} = 10.3306787434 \left[\frac{\text{m}_n^3}{\text{s}} \right]$$

3.6.8 Rzeczywisty współczynnik nadmiaru powietrza dla kotła

$$\lambda_k := \frac{\lambda_p \cdot \sum \dot{V}_{pprac}}{\dot{V}_{pkd}}; \quad \lambda_k = 1.27777882805$$

Korekta strumieni powietrza drugiego i trzeciego do palników po uwzględnieniu powietrza dostanego przez lej oraz chłodzącego do palników rezerwowych strumień powietrza trzeciego

$$\dot{V}_{pow3} := k_{pow3} \cdot (\dot{V}_{pp2} - \dot{V}_{pow1}); \quad \dot{V}_{pow3} = 6.33750448572 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

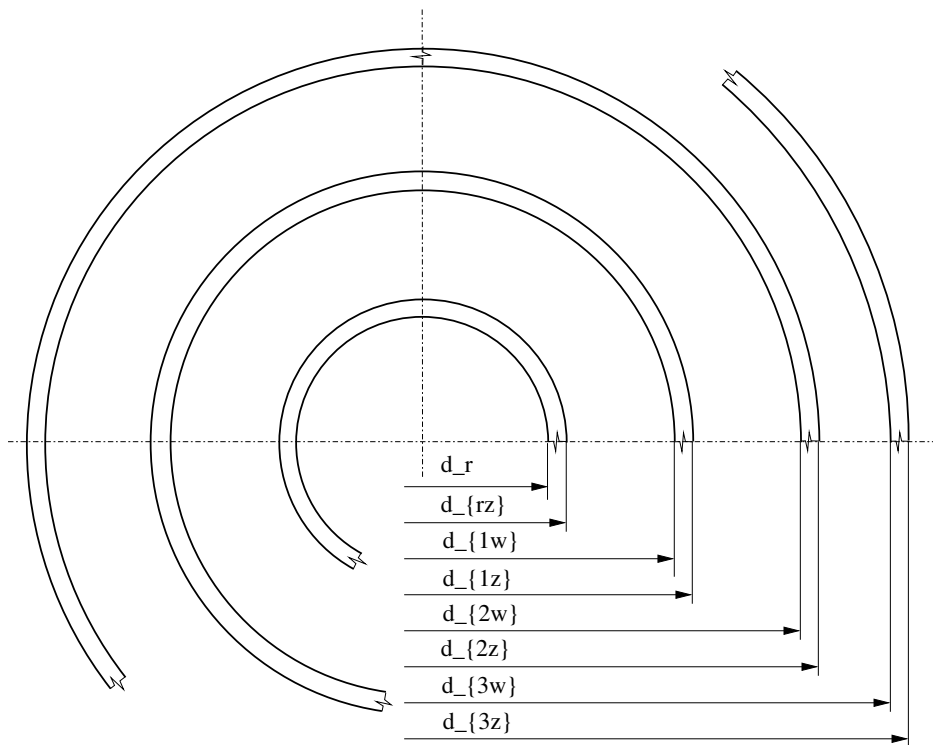
strumień powietrza drugiego

$$\dot{V}_{pow2} := k_{pow2} \cdot (\dot{V}_{pp2} - \dot{V}_{pow1}); \quad \dot{V}_{pow2} = 1.11838314454 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Sprawdzenie

$$\dot{V}_{pow1} + \dot{V}_{pow2} + \dot{V}_{pow3} + \frac{\dot{V}_{ch} + \Delta \dot{V}_k}{n_w} = 11.3188213198 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]; \quad \dot{V}_{pp1} = 11.3188213198 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

3.7 Obliczenia geometrii palnika



Rysunek 2: Średnice wylotowe palnika – schemat palnika, widok od strony komory paleniskowej

Przyjęte temperatury powietrza:

$$T_r := 373.0 \text{ K} - \text{rdzeniowego} \dots\dots\dots (T_r - 273.15) = 99.85^\circ\text{C}$$

$$T_1 := 373.0 \text{ K} - \text{pierwotnego} \dots\dots\dots (T_1 - 273.15) = 99.85^\circ\text{C}$$

$$T_2 := 586.0 \text{ K} - \text{drugiego} \dots\dots\dots (T_2 - 273.15) = 312.85^\circ\text{C}$$

$$T_3 := 586.0 \text{ K} - \text{trzeciego} \dots\dots\dots (T_3 - 273.15) = 312.85^\circ\text{C}$$

Prędkości strumieni powietrza:

$$w_r := 20.0 \text{ [m/s]} - \text{rdzeniowego} \dots\dots\dots w_r \cdot [\text{km}] / [\text{hr}] = 72.0$$

$$w_1 := 18.0 \text{ [m/s]} - \text{pierwotnego} \dots\dots\dots w_1 \cdot [\text{km}] / [\text{hr}] = 64.8$$

$$w_2 := 15.0 \text{ [m/s]} - \text{drugiego} \dots\dots\dots w_2 \cdot [\text{km}] / [\text{hr}] = 54.0$$

$$w_3 := 35.0 \text{ [m/s]} - \text{trzeciego} \dots\dots\dots w_3 \cdot [\text{km}] / [\text{hr}] = 126.0$$

3.8 Powierzchnie wypływu

3.8.1 Pole przekroju dyszy powietrza rdzeniowego

$$\dots\dots\dots T_r = 373.0 \text{ K},$$

$$\dots\dots\dots \dot{V}_{powr} = 0.287479111318 \text{ [m}_n^3/\text{s]},$$

$$\dots\dots\dots w_r = 20.0 \text{ [m/s]}$$

$$V = Ax / \tau \Leftrightarrow \dot{V} = A\dot{x} \Leftrightarrow A = \frac{\dot{V}}{\dot{x}}; \quad \dot{x} = \vec{v}; \quad A = \frac{\dot{V}}{\vec{v}} \quad (15)$$

$$pV = mRT / \Leftrightarrow p = \text{const}; m = \text{const}; \Leftrightarrow \frac{V}{T} = \frac{mR}{p} = \text{const} \quad (16)$$

$$S_r := \frac{\dot{V}_{powr}}{w_r} \cdot \frac{T_r}{T_n}; \quad S_r = 0.0196283559439 \text{ [m}^2] \quad S_r \cdot [\text{mm}]^2 = 19628.3559439 \text{ [mm}^2]$$

$$d_{rw} := \sqrt{\frac{4 \cdot S_r}{\pi}}; \quad d_{rw} = 0.158087314437 \text{ [m]}; \quad d_{rw} \cdot [\text{mm}] = 158.087314437$$

$$\phi_{rw} := \text{round}(d_{rw}, 1) \dots\dots\dots \phi_{rw} \cdot [\text{mm}] = 200.0$$

$$\phi_{rw} := \text{round}(d_{rw}, 2) \dots\dots\dots \phi_{rw} \cdot [\text{mm}] = 160.0$$

uwzględniając grubość ścianki $g_s := 10.0 \cdot [\text{mm}] \quad g_s = 0.01 \text{ [m]}$

$$d_{rz} := \phi_{rw} + 2 \cdot g_s; \quad d_{rz} \cdot [\text{mm}] = 180.0 \text{ [mm]}; \quad d_{rz} = 0.18 \text{ [m]}$$

$$S_{rz} := \pi \cdot \frac{d_{rz}^2}{4.0}; \quad S_{rz} \cdot [\text{mm}]^2 = 25446.9004941$$

3.8.2 Pole przekroju dyszy powietrza pierwotnego

$$T_1 = 373.0 \text{ K}, T_n = 273.15 \text{ K}, \dot{V}_{pow1} = 2.87479111318 \text{ [m}_n^3/\text{s]}, w_1 = 18.0 \text{ [m/s]}$$

$$S_{1w} := \frac{\dot{V}_{pow1}}{w_1} \cdot \frac{T_1}{T_n}; \quad S_{1w} = 0.218092843821 \text{ [m}^2]; \quad S_{1w} \cdot [\text{mm}]^2 = 218092.843821$$

pierścień seperujący mieszanke pyłowo-powietrzną

$$d_{1w} := \sqrt{\frac{4.0 \cdot (S_{rz} + S_{1w})}{\pi}}; \quad d_{1w} \cdot [\text{mm}] = 556.852254352$$

$$\begin{aligned} \phi_{1w} &:= \text{round}(d_{1w}, 1) \dots\dots\dots \phi_{1w} \cdot [\text{mm}] = 600.0 \\ \phi_{1w} &:= \text{round}(d_{1w}, 2) \dots\dots\dots \phi_{1w} \cdot [\text{mm}] = 560.0 \\ \phi_{1w} &:= \text{round}(d_{1w}, 3) \dots\dots\dots \phi_{1w} \cdot [\text{mm}] = 557.0 \end{aligned}$$

Założenie:

grubość pierścienia wynosi: $g_p := 15.0 \cdot [\text{mm}]$

$$d_{1z} := d_{1w} + 2 \cdot g_p \qquad d_{1z} \cdot [\text{mm}] = 586.852254352$$

$$d_{1z} := \phi_{1w} + 2 \cdot g_p \qquad d_{1z} \cdot [\text{mm}] = 587.0$$

$$S_{1p} := \pi \cdot \frac{d_{1z}^2}{4.0} - (S_r); \quad S_{1p} \cdot [\text{mm}]^2 = 250995.50382$$

średnica wewnętrzna dyszy mieszanki pyłowo-powietrznej

$$S_{1z} := \pi \cdot \frac{d_{1z}^2}{4.0} - (S_{rz}); \quad S_{1z} \cdot [\text{mm}]^2 = 245176.95927$$

3.8.3 Pole przekroju dysz powietrza drugiego

$$T_2 = 586.0 \text{ K}, \dot{V}_{pow2} = 1.11838314454 [\text{m}_n^3/\text{s}], T_2 = 586.0 \text{ K}, w_2 = 15.0 [\text{m/s}]$$

$$S_{2w} := \frac{\dot{V}_{pow2}}{w_2} \cdot \frac{T_2}{T_n}; \quad S_{2w} \cdot [\text{mm}]^2 = 159954.243139$$

$$d_{2w} := \sqrt{\left(\frac{4.0 \cdot (S_{rz} + S_{1z} + S_{2w})}{\pi} \right)}; \quad d_{2w} \cdot [\text{mm}] = 740.424923751$$

$$\phi_{2w} := \text{round}(d_{2w}, 1) \dots\dots\dots \phi_{2w} \cdot [\text{mm}] = 700.0$$

$$\phi_{2w} := \text{round}(d_{2w}, 2) \dots\dots\dots \phi_{2w} \cdot [\text{mm}] = 740.0$$

$$\phi_{2w} := \text{round}(d_{2w}, 3) \dots\dots\dots \phi_{2w} \cdot [\text{mm}] = 740.0$$

Uwzględniając grubość ścianki: $g_{sw} := 8.0 \cdot [\text{mm}]$

$$d_{2z} := \phi_{2w} + 2.0 \cdot g_{sw}; \quad d_{2z} \cdot [\text{mm}] = 756.0$$

$$S_{2z} := \pi \cdot \frac{d_{2z}^2}{4.0} - (S_r + S_{1z}); \quad S_{2z} \cdot [\text{mm}]^2 = 184078.009502$$

3.8.4 Pole przekroju dysz powietrza trzeciego

$$T_3 := 586 \text{ K}, w_3 \cdot [\text{m}] / [\text{s}] = 35.0, \dot{V}_{pow3} = 6.33750448572 [\text{m}_n^3/\text{s}]$$

$$S_{3w} := \frac{\dot{V}_{pow3}}{w_3} \cdot \frac{T_3}{T_n}; \quad S_{3w} \cdot [\text{mm}]^2 = 388460.304765$$

średnica wewnętrzna dysz powietrza trzeciego

$$d_{3w} := \sqrt{\frac{4.0 \cdot (S_{rz} + S_{1z} + S_{2z} + S_{3w})}{\pi}}; \quad d_{3w} \cdot [\text{mm}] = 1036.12133585$$

$$\phi_{3w} := \text{round}(d_{3w}, 1) \dots\dots\dots \phi_{3w} \cdot [\text{m}] = 1.0, \phi_{3w} \cdot [\text{mm}] = 1000.0$$

$$\phi_{3w} := \text{round}(d_{3w}, 2) \dots\dots\dots \phi_{3w} \cdot [\text{m}] = 1.04, \phi_{3w} \cdot [\text{mm}] = 1040.0$$

$\phi_{3w} := \text{round}(d_{3w}, 3) \dots \phi_{3w} \cdot [\text{m}] = 1.036, \phi_{3w} \cdot [\text{mm}] = 1036.0$
uwzględniając grubość ścianki $g_{s3} := 8.0 \cdot [\text{mm}]$

$$d_{3z} := \phi_{3w} + 2 \cdot g_{s3}; \quad d_{3z} = 1.052 [\text{m}]; \quad d_{3z} \cdot [\text{mm}] = 1052.0$$

$$S_{3z} := \pi \cdot \frac{d_{3z}^2}{4.0} - (S_r + S_{1z} + S_{2z}); \quad S_{3z} \cdot [\text{mm}]^2 = 420319.964309$$

3.9 Zapotrzebowanie na sprężenie

3.9.1 Powietrze pierwotne

Ze względu na przewężenie w przewodzie mieszaniny pyłowo-powietrznej, przyjmuje się:
 $\xi_1 := 3.0, \rho_{air} := 1.2 [\text{kg}/\text{m}^3], w_1 = 18.0 [\text{m}/\text{s}]$

$$\Delta p_1 := 0.5 \cdot \xi_1 \cdot \rho_{air} \cdot w_1^2; \quad \Delta p_1 \cdot [\text{Pa}] = 583.2; \quad \Delta p_1 \cdot [\text{cmwc}] = 5.94817458901$$

3.9.2 Powietrze drugie

$\xi_2 := 4.0, \rho_{air} := 1.2 [\text{kg}/\text{m}^3], w_2 = 15.0 [\text{m}/\text{s}]$

$$\Delta p_2 := 0.5 \cdot \xi_2 \cdot \rho_{air} \cdot w_2^2; \quad \Delta p_2 \cdot [\text{Pa}] = 540.0; \quad \Delta p_2 \cdot [\text{cmwc}] = 5.50756906389$$

3.9.3 Powietrze trzecie

$\xi_3 := 1.5, \rho_{air} := 1.2 [\text{kg}/\text{m}^3], w_3 = 35.0 [\text{m}/\text{s}]$

$$\Delta p_3 := 0.5 \cdot \xi_3 \cdot \rho_{air} \cdot w_3^2; \quad \Delta p_3 \cdot [\text{Pa}] = 1102.5; \quad \Delta p_3 \cdot [\text{cmwc}] = 11.2446201721$$

4 Podsumowanie

Kocioł: OP-230

$n_p = 8.0$ – całkowita ilość palników,

$n_r = 2.0$ – ilość palników w rezerwie,

$P_c \cdot [\text{MW}] = 30.0$ – Moc cieplna jednego palnika,

$Q_{wr} \cdot [\text{MJ}] / [\text{kg}] = 20.45366$ – kaloryczność paliwa,

$\dot{m}_{rt} \cdot [\text{kg}] / [\text{s}] = 1.46673015979$ – całkowita ilość węgla na palnik, $\dot{m}_{rt} \cdot [\text{lb}] / [\text{s}] = 3.23358649041$,

$\dot{V}_{pp1} \cdot [\text{m}]^3 / [\text{s}] = 11.3188213198$ – całkowita ilość powietrza na palnik,

$\lambda_p = 1.4$ – współczynnik nadmiaru powietrza dla palnika,

$V_{pmin} \cdot [\text{m}]^3 / [\text{kg}] = 5.62466770833$ – teoretyczne zapotrzebowanie powietrza do spalania całkowitego i zupełnego,

$c_{pyl} \cdot [\text{kg}] / [\text{m}]^3 = 0.5$ – koncentracja mieszanki pyłowo-powietrznej.

dla powietrza	prędkość [m/s]	temperatura K	spadek ciśnienia [Pa]	strumienie objętości [m ³ /s]
rdzeniowego	$w_r = 20.0$	$T_r = 373.0$		$\dot{V}_{powr} = 0.287479111318$
pierwotnego	$w_1 = 18.0$	$T_1 = 373.0$	$\Delta p_1 = 583.2$	$\dot{V}_{pow1} = 2.87479111318$
drugiego	$w_2 = 15.0$	$T_2 = 586.0$	$\Delta p_2 = 540.0$	$\dot{V}_{pow2} = 1.11838314454$
trzeciego	$w_3 = 35.0$	$T_3 = 586$	$\Delta p_3 = 1102.5$	$\dot{V}_{pow3} = 6.33750448572$

dla powietrza	prędkość [ft/s]	strumienie objętości [gal/s]
rdzeniowego	$w_r \cdot [\text{ft}] / [\text{s}] = 65.6167979003$	$\dot{V}_{powr} \cdot [\text{gal}] / [\text{s}] = 63.2656494978$
pierwotnego	$w_1 \cdot [\text{ft}] / [\text{s}] = 59.0551181102$	$\dot{V}_{pow1} \cdot [\text{gal}] / [\text{s}] = 632.656494978$
drugiego	$w_2 \cdot [\text{ft}] / [\text{s}] = 49.2125984252$	$\dot{V}_{pow2} \cdot [\text{gal}] / [\text{s}] = 246.123051175$
trzeciego	$w_3 \cdot [\text{ft}] / [\text{s}] = 114.829396325$	$\dot{V}_{pow3} \cdot [\text{gal}] / [\text{s}] = 1394.69728999$

dla powietrza	grubości ścian [mm]	średnice wew. obliczone [mm]	średnice zew. obliczone [mm]
rdzeniowego	$g_s \cdot [\text{mm}] = 10.0$	$\phi_{rw} \cdot [\text{mm}] = 160.0$	$d_{rz} \cdot [\text{mm}] = 180.0$
pierwotnego	$g_p \cdot [\text{mm}] = 15.0$	$\phi_{1w} \cdot [\text{mm}] = 557.0$	$d_{1z} \cdot [\text{mm}] = 587.0$
drugiego	$g_p \cdot [\text{mm}] = 15.0$	$\phi_{2w} \cdot [\text{mm}] = 740.0$	$d_{2z} \cdot [\text{mm}] = 756.0$
trzeciego	$g_{sw} \cdot [\text{mm}] = 8.0$	$\phi_{3w} \cdot [\text{mm}] = 1036.0$	$d_{3z} \cdot [\text{mm}] = 1052.0$

Literatura

- [1] <http://www.spalanie.pwr.wroc.pl>
- [2] W. Pudlik: *Zbór zadań z Termodynamiki*
- [3] <http://sg.bzip.pl/CalcTeX>