

## Obliczenie stopni redukcji

1. Ilość gazów garowych dla całego pieca<sup>1</sup>:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{ggar}} = & V_{\text{ms}} \cdot \frac{100 + O_{2d}}{100} + 2 \cdot H_2O_m \cdot 0,001 \cdot \frac{22,4}{18} \cdot V_{\text{ms}} + (CH_{4gz} \cdot 2 + O_{2gz} \cdot 2 + N_{2gz}) \cdot \frac{V_{\text{gzh}}}{60} \cdot 0,01 + \\
 & + (CO_{gk} + CO_{2gk} \cdot 2 + H_{2gk} + N_{2gk} + CH_{4gk} \cdot 2 + O_{2gk} \cdot 2) \cdot \frac{V_{gk}}{60} \cdot 0,01 + \\
 & + \left( \frac{H_{2c}}{2} + \frac{N_{2c}}{28} + \frac{O_{2c}}{32} \cdot 2 \right) \cdot \frac{G_c \cdot 22,4}{60} \cdot 0,01 + (N_{2at} + O_{2at} \cdot 2) \cdot \frac{V_{\text{ath}}}{60} \cdot 0,01 \quad [m^3/min]
 \end{aligned}$$

2. Ilość gazów gardzielowych w okresie 1 minuty:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{gg}} = & \left\{ \left( V_{\text{ms}} \cdot \frac{100 - O_{2d}}{100} + \frac{V_{\text{gzh}}}{60} \cdot N_{2gz} \cdot 0,01 + \frac{V_{N_{2w}}}{60} + \frac{G_c}{60} \cdot N_{2c} \cdot 0,01 \cdot \frac{22,4}{28} + \frac{V_{gk}}{60} \cdot N_{2gk} \cdot 0,01 + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{V_{\text{ath}}}{60} \cdot N_{2at} \cdot 0,01 \right) \div (N_{2gg} \cdot 0,01) \right\} \cdot \frac{V_{N_{2w}}}{60} \quad [m^3/min]
 \end{aligned}$$

3. Rzeczywisty skład gazu gardzielowego (bez udziału azotu chłodzącego przekładnię Wurtha):

$$CO'_{gg} = CO_{gg} \cdot \frac{V_{gg} + \frac{V_{N_{2w}}}{60}}{V_{gg}} \quad [%]$$

$$CO'_{2gg} = CO_{2gg} \cdot \frac{V_{gg} + \frac{V_{N_{2w}}}{60}}{V_{gg}} \quad [%]$$

$$H'_{2gg} = H_{2gg} \cdot \frac{V_{gg} + \frac{V_{N_{2w}}}{60}}{V_{gg}} \quad [%]$$

$$N'_{2gg} = 100 - CO'_{gg} - CO'_{2gg} - H'_{2gg} \quad [%]$$

4. Ilość wodoru w gazie garowym w okresie 1 minuty:

$$\begin{aligned}
 V_{H_{2dy}} = & (V_{\text{gzh}} \cdot CH_{4gz} \cdot 2 \cdot 0,01 + V_{gk} \cdot (2 \cdot CH_{4gk} + H_{2gk}) \cdot 0,01 + G_c \cdot H_{2c} \cdot 0,01 \cdot \frac{22,4}{2}) \cdot \frac{1}{60} + \\
 & + H_2O_m \cdot 0,001 \cdot \frac{22,4}{18} \cdot V_{\text{ms}} \quad [m^3/min]
 \end{aligned}$$

5. Ilość azotu w gazie garowym w okresie 1 minuty:

$$V_{N_{2dy}} = \left( V_{\text{ms}} \cdot \frac{100 - O_{2d}}{100} + V_{\text{gzh}} \cdot N_{2gz} \cdot 0,01 + V_{gk} \cdot N_{2gk} \cdot 0,01 + V_{\text{ath}} \cdot N_{2at} \cdot 0,01 + G_c \cdot N_{2c} \cdot \frac{22,4}{28} \cdot 0,01 \right) \cdot \frac{1}{60} \quad [m^3/min]$$

<sup>1</sup> Dla uproszczenia nie uwzględnia się wodoru azotu i tlenu zawartych w koksie

## Obliczenie stopni redukcji

6. Ilość tlenku węgla w gazie garowym w okresie 1 minuty:

$$V_{\text{COdy}} = V_{\text{ggar}} - V_{\text{H}_{2\text{dy}}} - V_{\text{N}_{2\text{dy}}} \quad [\text{m}^3/\text{min}]$$

7. Masa tlenu przed dyszami w okresie 1 minuty:

$$G_{\text{O}_{2\text{dy}}} = V_{\text{COdy}} \cdot \frac{16}{22,4} \quad [\text{kg}/\text{min}]$$

8. Masa tlenu w gazie gardzielowym w okresie 1 minuty:

$$G_{\text{O}_{2\text{gg}}} = V_{\text{gg}} \cdot \text{CO}'_{\text{gg}} \cdot \frac{16}{22,4} \cdot 0,01 + V_{\text{gg}} \cdot \text{CO}'_{2\text{gg}} \cdot \frac{32}{22,4} \cdot 0,01 + (V_{\text{H}_{2\text{dy}}} - V_{\text{gg}} \cdot \text{H}'_{2\text{gg}} \cdot 0,01) \cdot \frac{16}{22,4} \quad [\text{kg}/\text{min}]$$

9. Masa składników żużłotwórczych ze wszystkich tworzyw przypadających na 1 nabój<sup>2</sup>:

$$\begin{aligned} G_Z = & \{ (G_1 \cdot (\text{CaO}_{(1)} + \text{MgO}_{(1)} + \text{SiO}_{2(1)} + \text{Al}_2\text{O}_{3(1)}) \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_{(1)}) + \\ & + (G_2 \cdot (\text{CaO}_{(2)} + \text{MgO}_{(2)} + \text{SiO}_{2(2)} + \text{Al}_2\text{O}_{3(2)}) \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_{(2)}) + \\ & + G_3 \cdot (\text{CaO}_{(3)} + \text{MgO}_{(3)} + \text{SiO}_{2(3)} + \text{Al}_2\text{O}_{3(3)}) \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_{(3)}) + \\ & + (G_t \cdot (\text{CaO}_t + \text{MgO}_t + \text{SiO}_{2t} + \text{Al}_2\text{O}_{3t}) \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_t) \} \cdot 0,0001 + \\ & + G_K \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_K) \cdot \text{POP}_K \cdot (\text{CaO}_{\text{pop}} + \text{MgO}_{\text{pop}} + \text{SiO}_{2\text{pop}} + \text{Al}_2\text{O}_{3\text{pop}}) \cdot 10^{-6} - \\ & - G_p \cdot (\text{CaO}_p + \text{MgO}_p + \text{SiO}_{2p} + \text{Al}_2\text{O}_{3p}) \cdot 0,01 \quad [\text{kg}/\text{nab}] \end{aligned}$$

10. Masa żelaza w całym naboju:

$$\begin{aligned} G_{\text{Fe}} = & (G_1 \cdot \text{Fe}_{(1)} \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_{(1)}) + G_2 \cdot \text{Fe}_{(2)} \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_{(2)}) + G_3 \cdot \text{Fe}_{(3)} \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_{(3)}) + \\ & + G_t \cdot \text{Fe}_t \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_t) + G_K \cdot \text{Fe}_{\text{pop}} \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_K) \cdot \text{POP}_K \cdot 0,01) \cdot 0,0001 - G_p \cdot \text{Fe}_p \cdot 0,01 \quad [\text{kg}/\text{nab}] \end{aligned}$$

11. Masa FeO w tworzywach w 1 naboju<sup>3</sup>:

$$\begin{aligned} G_{\text{FeO}} = & (G_1 \cdot \text{FeO}_{(1)} \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_{(1)}) + G_2 \cdot \text{FeO}_{(2)} \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_{(2)}) + G_3 \cdot \text{FeO}_{(3)} \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_{(3)}) + \\ & + G_t \cdot \text{FeO}_t \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_t) + G_K \cdot \text{FeO}_{\text{pop}} \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_K) \cdot \text{POP}_K \cdot 0,01) \cdot 0,0001 - G_p \cdot \text{FeO}_p \cdot 0,01 \quad [\text{kg}/\text{nab}] \end{aligned}$$

12. Przeliczenie Fe popiołu koksu na FeO:

$$\text{FeO}_{\text{POP}} = \text{Fe}_{\text{POP}} \cdot \frac{72}{56} \quad [\%]$$

<sup>2</sup> Dla uproszczenia nie uwzględnia się składników żużłotwórczych zawartych w popiele pyłu węglowego

<sup>3</sup> Żelazo w popiele koksu występuje wyłącznie w postaci FeO, należy go przeliczyć wg wzoru 12

## Obliczenie stopni redukcji

---

13. Masa  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  w tworzywach w 1 naboju<sup>4</sup>:

$$G_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = (G_1 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_{3(1)} \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_{(1)}) + G_2 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_{3(2)} \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_{(2)}) + G_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_{3(3)} \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_{(3)}) + G_t \cdot \text{Fe}_2\text{O}_{3t} \cdot (100 - \text{H}_2\text{O}_t)) \cdot 0,0001 - G_p \cdot \text{Fe}_2\text{O}_{3p} \cdot 0,01$$

[kg/nab]

14. Obliczenie zawartości  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  w tworzywach:

$$\text{Fe}_2\text{O}_{3(i)} = (\text{Fe}_{(i)} - \text{FeO}_{(i)} \cdot \frac{56}{72}) \cdot \frac{160}{112}$$

[%]

15. Teoretyczna ilość surówki z 1 naboju:

$$G_{\text{sur}} = \frac{G_{\text{Fe}}}{(100 - (\text{Si}_s + \text{Mn}_s + \text{P}_s + \text{S}_s + \text{C}_s)) \cdot 0,01}$$

[kg/nab]

16. Ubytek masy żużła z tytułu redukcji krzemu:

$$G_{\text{zsur}} = G_{\text{sur}} \cdot \text{Si}_s \cdot \frac{60,09}{28,09} \cdot 0,01$$

[kg/nab]

17. Rzeczywista masa żużła z 1 naboju:

$$G_{\text{zrz}} = \frac{G_z - G_{\text{zsur}}}{(\text{CaO}_z + \text{MgO}_z + \text{Al}_2\text{O}_{3z} + \text{SiO}_{2z}) \cdot 0,01}$$

[kg/nab]

18. Masa surówki wyprodukowanej z 1 naboju (produkcja nabojowa):

$$\text{Prn} = G_{\text{sur}} - G_{\text{zrz}} \cdot \text{FeO}_z \cdot 0,01 \cdot 0,777$$

[kg/nab]

19. Masa tlenu zawartego w FeO żużła:

$$G_{\text{O}_{2\text{FeO}_z}} = G_{\text{zrz}} \cdot \text{FeO}_z \cdot 0,01 \cdot 0,222$$

[kg/nab]

20. Masa tlenu z FeO tworzyw znajdujących się w 1 naboju:

$$G_{\text{O}_{2\text{FeOw}}} = G_{\text{FeO}} \cdot 0,222$$

[kg/nab]

21. Masa tlenu z  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tworzyw znajdujących się w 1 naboju:

$$G_{\text{O}_{2\text{Fe}_2\text{O}_3\text{w}}} = G_{\text{Fe}_2\text{O}_3} \cdot 0,3$$

[kg/nab]

22. Masa tlenu z FeO i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tworzyw znajdujących się w 1 naboju:

$$G_{\text{O}_{2\text{FeOFe}_2\text{O}_3}} = G_{\text{O}_{2\text{FeOw}}} + G_{\text{O}_{2\text{Fe}_2\text{O}_3\text{w}}}$$

[kg/nab]

---

<sup>4</sup> Zawartość  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dla każdego tworzywa należy obliczyć wg wzoru 14

## Obliczenie stopni redukcji

---

23. Masa krzemu w 1 Mg surówki:

$$G_{Si} = Si_s \cdot 10 \quad [\text{kg/Mg}]$$

24. Masa manganu w 1 Mg surówki:

$$G_{Mn} = Mn_s \cdot 10 \quad [\text{kg/Mg}]$$

25. Masa fosforu w 1 Mg surówki:

$$G_{P_s} = P_s \cdot 10 \quad [\text{kg/Mg}]$$

26. Masa tlenu z redukcji  $SiO_2$ :

$$G_{O_{2Si}} = G_{Si} \cdot \frac{32}{28,09} \quad [\text{kg/Mg}]$$

27. Masa tlenu z redukcji  $MnO$ :

$$G_{O_{2Mn}} = G_{Mn} \cdot \frac{16}{54,94} \quad [\text{kg/Mg}]$$

28. Masa tlenu z redukcji  $P_2O_5$ :

$$G_{O_{2P}} = G_{P_s} \cdot \frac{80}{61,95} \quad [\text{kg/Mg}]$$

29. Całkowita masa tlenu pochodzącego z procesów redukcji Si, Mn, P, Fe (pomniejszona o tlen zawarty w FeO żuźla):

$$G_{O_{2w}} = G_{O_{2Si}} + G_{O_{2Mn}} + G_{O_{2P}} + \frac{G_{O_{2FeOFe_2O_3}} - G_{O_{2FeOz}}}{Prn \cdot 0,001} \quad [\text{kg/Mg}]$$

30. Chwilowa produkcja surówki dla całego pieca:

$$Pch = \frac{G_{O_{2gg}} - G_{O_{2dy}}}{G_{O_{2w}}} \quad [\text{Mg/min}]$$

31. Masa tlenu z wilgoci dmuchu w ciągu 1 minuty:

$$G_{O_{2H_2O_m}} = G_{H_2O_m} \cdot \frac{16}{18} \quad [\text{kg/min}]$$

## Obliczenie stopni redukcji

32. Masa węgla zużytego na redukcję bezpośrednią w całym wielkim piecu w przeliczeniu na 1 tonę surówki:

$$G_{\text{crb}} = \frac{(100 - O_{2d}) \cdot 0,01}{\frac{Pch}{V_{ms}}} \cdot \frac{12}{22,4} \cdot \frac{CO'_{\text{gg}} + CO'_{2\text{gg}}}{N'_{2\text{gg}}} - \left( \frac{O_{2d} \cdot 0,01}{\frac{Pch}{V_{ms}}} \cdot \frac{12}{11,2} + \frac{G_{O_{2H_2O_m}}}{Pch} \cdot \frac{12}{16} \right)$$

[kg/Mg sur]

33. Masa tlenu odebranego wsadowi na drodze redukcji bezpośredniej w przeliczeniu na 1 tonę surówki:

$$G_{O_{2rb}} = G_{\text{crb}} \cdot \frac{16}{12}$$

[kg/Mg sur]

34. Masa tlenu odebranego wsadowi na drodze redukcji bezpośredniej i pośredniej w przeliczeniu na 1 tonę surówki:

$$G_{O_{2zwc}} = \frac{V_{\text{gg}} \cdot CO'_{\text{gg}} \cdot \frac{16}{22,4} \cdot 0,01 + V_{\text{gg}} \cdot CO'_{2\text{gg}} \cdot \frac{32}{22,4} \cdot 0,01 - G_{O_{2dy}}}{Pch}$$

[kg/Mg sur]

35. Masa tlenu odebranego wsadowi na drodze redukcji wodorem w przeliczeniu na 1 tonę surówki:

$$G_{O_{2zwH_2}} = \frac{(V_{H_{2dy}} - V_{\text{gg}} \cdot H'_{2\text{gg}} \cdot 0,01) \cdot \frac{16}{22,4}}{Pch}$$

[kg/Mg sur]

36. Stopień redukcji bezpośredniej:

$$R_B = \frac{G_{O_{2rb}}}{G_{O_{2zwc}} + G_{O_{2zwH_2}}} \cdot 100$$

[%]

37. Stopień redukcji wodorem:

$$R_{H_2} = \frac{G_{O_{2zwH_2}}}{G_{O_{2zwc}} + G_{O_{2zwH_2}}} \cdot 100$$

[%]

38. Stopień redukcji pośredniej:

$$R_{CO} = 100 - R_B - R_{H_2}$$

[%]