

Dariusz FOSZCZ
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

ANALIZA PRACY ODDZIAŁU ODWADNIANIA KONCENTRATU W ZWR ZG „RUDNA”

Streszczenie: Po modernizacji układu odwadniania i suszenia koncentratów miedziowych oraz wyposażeniu układu w aparaturę pomiarowo–regulacyjną możliwe jest prowadzenie sterowania optymalizującego procesy.

Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów i zebranych danych wyznaczono równania regresji uwzględniające możliwe zmienne sterujące i mierzalne zakłócenia procesu filtracji i suszenia termicznego dla różnych zmiennych zależnych. W artykule przedstawiono rezultaty poszukiwań modeli liniowych i nieliniowych i przedstawiono ich analizę statystyczną i technologiczną.

ANALYSIS OF THE WORK OF THE CONCENTRATE DEWATERING DEPARTMENT IN ZWR ZG “RUDNA”

Summary. After modernisation of copper concentrate dewatering and drying systems and completing of measure and control apparatus the optimal control of processes is possible.

On the base of experiments carried out and collected data the regression equations were determined taking into account all possible control variables and measurable disturbances of a filtration process and thermal drying for different dependent variables. Results of linear and non-linear model identifications based on statistical and technological analysis are presented in the paper.

Wstęp

Przeprowadzona modernizacja oddziału odwadniania w ZWR ZG „Rudna” obejmująca zastąpienie filtracji podciśnieniowej filtracją ciśnieniową z użyciem prasy filtracyjnej firmy LAROX pozwoliła na przeprowadzenie analizy pracy nowego urządzenia oraz oddziału odwadniania w nowych warunkach pracy. Schemat technologiczny oddziału odwadniania po

modernizacji został przedstawiony na rysunku 1a. Modernizacja miała na celu obniżenie energochłonności procesu odwadniania stanowiącego ok. 20% ogólnych kosztów przerobu rudy. Zasadnicza część tych kosztów przypada na proces suszenia. Rozkład kosztów na poszczególne procesy odwadniania przed modernizacją był następujący:

- zagęszczanie - 7%
- filtracja podciśnieniowa - 12%
- suszenie - 81%

Zmiana filtracji podciśnieniowej na ciśnieniową pozwoliła na uzyskanie zmniejszenia wilgotności placka filtracyjnego z ok. 24% do ok. 14%, obniżając również zużycie gazu przez suszarkę. Obecnie jedyną racjonalną drogą dalszego zmniejszenia energochłonności procesu odwadniania wydaje się właściwe prowadzenie procesu suszenia.

Właściwe prowadzenie procesu z uwagi na jego optymalizację wymaga znajomości wzajemnych zależności pomiędzy zmiennymi charakteryzującymi dany proces. Do rzadkości należy przypadek, by zależności pomiędzy czynnikami miały charakter liniowy, który w znacznej mierze ułatwia proces sterowania. Najczęściej mamy do czynienia z nieliniowym charakterem zmian, co przy dużej liczbie rozpatrywanych parametrów stanowi dość znaczne utrudnienie. W wielu przypadkach nie operujemy jednak całym przedziałem wartości danego parametru, a jedynie wąskim zakresem jego zmian, co pozwala na uproszczenie zagadnienia poprzez przyjęcie liniowego charakteru zmian lub aproksymację wzajemnych powiązań zmiennych odpowiednią funkcją. Nasze zadanie sprowadza się wówczas do dobrania odpowiedniej funkcji aproksymującej zależności w rozpatrywanych przedziałach zmian zmiennych.

Zawarta w niniejszym opracowaniu analiza zależności pomiędzy podstawowymi parametrami procesu filtracji oraz suszenia termicznego w suszarce opalanej gazem ziemnym została przeprowadzona pod kątem sterowania optymalizującego proces odwadniania koncentratu miedziowego. Do analizy zostały wykorzystane dane pomiarowe zebrane w na przełomie lutego i marca w 1995r. Obliczenia oraz analiza danych została przeprowadzona przy użyciu programu Statgraphics wersji 6.

Przebieg opróbowania przemysłowego

Przeprowadzono dwie serie opróbowania: pierwsza seria 30 pomiarów oraz seria druga składająca się z 36 pomiarów. Dodatkowe 6 pomiarów w drugiej serii podyktowane było równoczesnym kierowaniem placka filtracyjnego z dwóch filtrów, LAROX A 1 i będącego w fazie rozruchu LAROX A 2, do suszarki - 4. Obie serie pobierania próbek następowały bezpośrednio po sobie i dokonywane były w warunkach zimowo-wiosennych (temperatura powietrza $-5 \div +3$ °C).

Z uwagi na cykliczną pracę filtra poszczególne pomiary wykonywano w ściśle określonych odstępach czasu uwzględniających czas trwania poszczególnych faz pracy filtra oraz czas przebywania placka filtracyjnego w suszarce.

Pobierano próbki:

- nadawy do filtra - punkt nr 1,
- placka filtracyjnego - punkt nr 2,
- filtratu - punkt nr 3,
- wysuszonego koncentratu z suszarki - punkt nr 4.

Miejsca pobierania próbek przedstawione są na rysunku 1a i 1b.

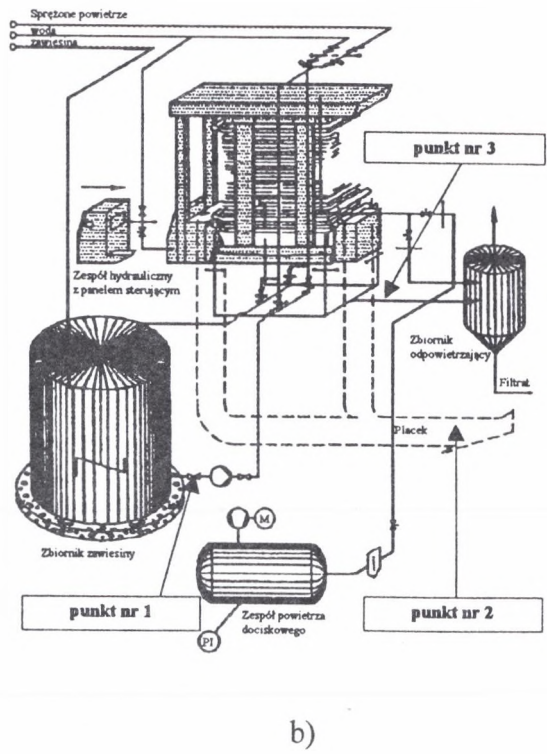
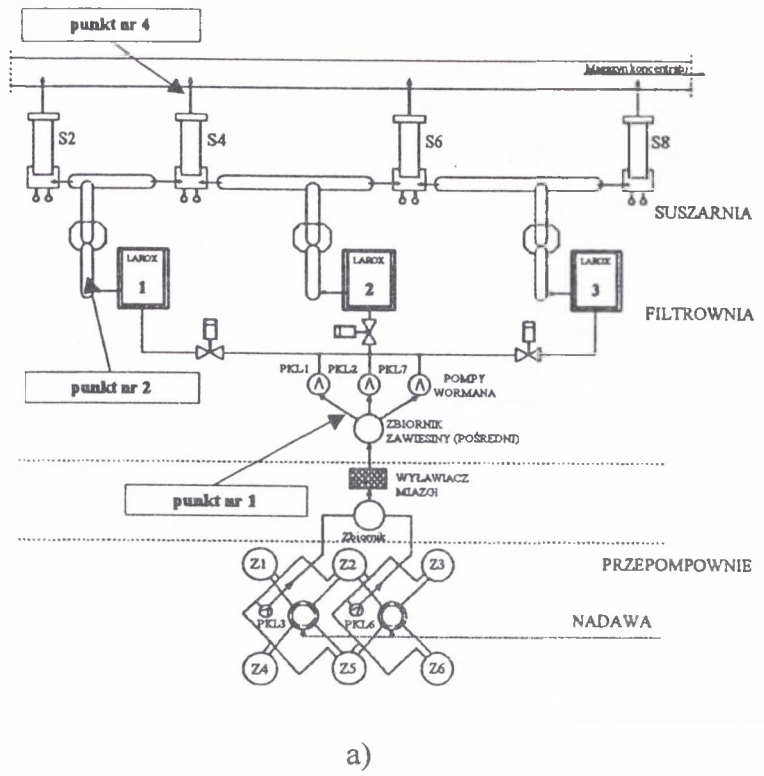
W pobranych próbkach zostały określone:

1. Nadawa na filtr:

- gęstość poprzez określenie masy zawiesiny w naczyniu o znanej pojemności - pojemność naczynia 1000 cm^3 ; waga WPE 2000 (RADWAG) max = 2000 g, Min = 20 g, e = 1 g, d = 0,1 g, tara - T = -2000 g, klasa dokładności - kl III;
- temperaturę - termometr WS 14/25 max - 200°C d = 0,5°C;
- zawartość ziarn drobnych, tj. zawartość klasy poniżej $56 \mu\text{m}$ ($\gamma_{56\mu\text{m}}$) - w tym celu co trzeci zespół pomiarów pobierano próbkę nadawy do filtra do analizy składu ziarnowego na mokro na sicie $\phi 56 \mu\text{m}$. Pozostałe wyniki zostały uzyskane drogą ekstrakcji i interpolacji z danych rzeczywistych z uwzględnieniem danych pobieranych w danym dniu.

2. Placek filtracyjny:

- wilgotność - wilgotnościomierz WPE 30 (RADWAG) max - 30 g, temperatura - 20-140°C, max 30 g, Min = 0,2 g, e = 0,01 g, d = 0,001g, tara - T = -30 g, klasa dokładności - kl II.



Rys. 1. Miejsca pobierania próbek
Fig. 1. Places of sampling

3. Filtrat:

- zawartość części stałych - odsącz na sączku 1 dm³ filtratu.

4. Wyszuszony koncentrat z suszarki:

- wilgotność - wilgotnościomierz WPE 30 (RADWAG) max – 30 g, temperatura - 20-140°C, max 30 g, min = 0,2 g, e = 0,01 g, d = 0,001 g, tara - T = - 30 g, klasa dokładności - kl II.

Dla każdego z pomiarów odczytywano dane z filtra dotyczące:

- masy placka,
- czasu filtracji,
- czasu docisku,
- czasu suszenia,
- czasu cyklu,
- ciśnienia pompowania - stałe dla wszystkich pomiarów i wynoszące - 0,68 Mpa,
- ciśnienia docisku - stałe dla wszystkich pomiarów i wynoszące - 1,3 Mpa,
- ciśnienia sprężonego powietrza - stałe dla wszystkich pomiarów i wynoszące - 0,6÷0,7 MPa.

Dodatkowo zebrane dane uzupełniały wydruki z nastawni dotyczące:

- gęstości nadawy do filtra,
- czasu pracy zgęszczaczy,
- obciążenia (natężenie prądu pobieranego przez silnik obrotowy suszarki S4),
- poboru gazu przez suszarkę S4,
- temperatury w komorze mieszania w suszarce S4,
- temperatury wylotowej w suszarce S4.

Wszystkie czynniki charakteryzujące rozpatrywany proces filtracji, związane z własnościami produktów oraz parametrami urządzeń, można podzielić na:

- wielkości sterujące umożliwiające celowe oddziaływanie na proces,
- wielkości zakłócające mierzone,
- wielkości zakłócające niemierzone,
- wielkości wyjściowe - charakteryzujące jakość i ilość produktu końcowego (wskaźniki procesu).

Podział tych wielkości związanych z przeprowadzonym oprobowaniem procesu filtracji przedstawia się następująco:

1. Wielkości wejściowe:

- p - ciśnienie filtracji;
- t_f - czas filtracji;
- t_d - czas docisku;
- t_s - czas suszenia;
- t_c - czas cyklu.

2. Wielkości wejściowe zakłócające mierzone:

- ρ - gęstość nadawy do filtra;
- Z_f - zawartość części stałych w filtracie;
- $\gamma_{56\mu m}$ - skład ziarnowy fazy stałej nadawy (reprezentowany przez zawartość klasy poniżej 56 μm);
- T - temperatura nadawy do filtracji.

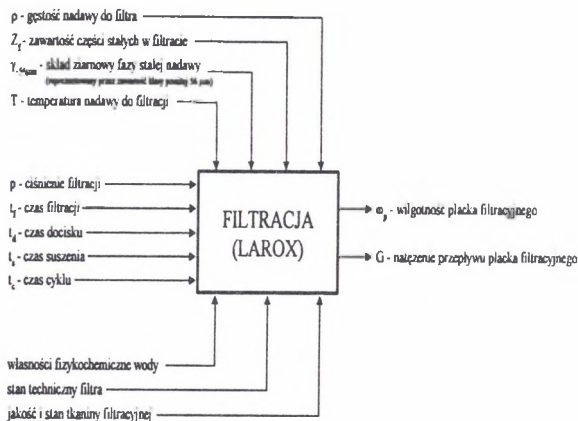
3. Wielkości wejściowe niemierzone:

- własności fizykochemiczne wody;
- stan techniczny filtra, w tym jakość i stan tkaniny filtracyjnej.

4. Wielkości wyjściowe:

- ω_p - wilgotność placka filtracyjnego;
- G - natężenie przepływu placka filtracyjnego.

Podział ten przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Czynniki charakteryzujące proces filtracji

Fig. 2. Factors of the filter process characterisation

Modele matematyczne pracy filtra i suszarki

Analiza danych pomiarowych procesu filtracji obejmowała, wyznaczenie zależności pomiędzy wielkościami wyjściowymi - ω_p i G a wielkościami wejściowymi - t_f , t_d , t_s , t_c oraz wejściowymi zakłócającymi - ρ , Z_f , $\gamma_{-50\mu m}$, T . Dodatkowo została wykonana analiza danych dla procesu suszenia celem pełniejszej oceny możliwości optymalizacji procesu odwadniania, obejmująca zależności pomiędzy ω_k (wilgotność koncentratu handlowego), T_{km} (temperatura w komorze mieszania), T_w (temperatura gazów wylotowych), I (pobór prądu przez silnik suszarki - będący miarą wypełnienia pieca koncentratem), Q (pobór gazu przez suszarkę) i zmiennymi ω_p oraz G .

Dla procesu filtracji wykonano 7 analiz regresji wielorakiej: 4 dla zmiennej zależnej ω_p i 3 dla zmiennej zależnej G . Dla procesu suszenia termicznego wykonano 6 analiz celem wytypowania optymalnej zmiennej zależnej.

W przeprowadzonych analizach, zgodnie z modelem regresji wielorakiej II rodzaju, poszukiwano współczynników regresji dla równań o następującej postaci:

- funkcja liniowa zmiennych niezależnych (model addytywny)

$$y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 \dots a_k X_k \quad (1)$$

- funkcja wykładnicza ($\ln \omega_p \vee \ln G$)

$$\ln y = c_0 + c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_k X_k \quad (2)$$

- model multiplikatywny (iloczynowy)

$$y = A X_1^{a_1} * X_2^{a_2} * \dots * X_k^{a_k} \quad (3)$$

Nim przejdziemy do omówienia uzyskanych wyników, kilka uwag na temat danych pomiarowych oraz sposobu interpretacji uzyskiwanych wyników. Z uwagi na brak możliwości pomiaru temperatury w końcowych 15 pomiarach II serii opróbowania oraz zmianę czasu filtracji z poziomu 181 na 151 dla 6 ostatnich pomiarów, do analiz, w których występował parametr T , zostało użyte 51 obserwacji bez czasu filtracji (t_f) z uwagi na stałą wartość parametru t_f w użytych do analizy obserwacjach. W celu uniknięcia nieporozumień podczas rozpatrywania wartości, a w szczególności znaku przy współczynnikach dla poszczególnych zmiennych musimy pamiętać, iż niektóre z nich są zmiennymi sterującymi mającymi jedynie

pośredni wpływ na wynik naszej zmiennej zależnej. Należy również mieć pełną informację na temat rozpatrywanych danych i czynników wpływających na wartości poszczególnych parametrów. W naszym przypadku mogą to być współczynniki przy takich parametrach, jak - T , G , t_s , t_c , Z_f . Odwrotny do oczekiwanego wpływ na uzyskiwaną wartość zmiennej zależnej tych parametrów może wynikać z:

T – mało dokładny pomiar,

G – zmienna zależna od programu obsługującego proces filtracji,

t_s – parametr ustawiany na stałym poziomie z możliwością zmiany przez operatora (w trakcie opróbowania został on zmieniony trzykrotnie z poziomu 241 sekund (dla 50 pierwszych pomiarów) na 301 (dla 4 pomiarów), następnie na 181 (dla 6 pomiarów) i ponownie na 241 (dla 6 pomiarów). Jak widzimy, do analiz z 51 obserwacjami (przy modelowaniu z parametrem T) użyta została tylko 1 zmiana tego parametru,

t_c – na wartość tego parametru mają wpływ również postoje w trakcie pracy filtra w celu oczyszczanie sprężoną wodą kanału spustowego, wynikają one z kłopotów z rozładunkiem placka filtracyjnego z filtra na taśmociąg, w wyniku którego następuje zaklejenie się kanału spustowego. Przystoje te wydłużają czas całego cyklu, choć nie mają żadnego związku z uzyskiwaną wartością wilgotności placka,

Z_f – zawartość części stałych w filtracie jest wypadkową wielu czynników między innymi – zawartość ziarn drobnych, jakość tkaniny filtracyjnej, czas filtracji, czas docisku, czas suszenia, ciśnienie filtracji; parametr ten należy traktować jako kontrolny.

Z uwagi na powyższe oraz szereg innych nie wymienionych czynników występujących w czasie opróbowania przemysłowego a w szczególności przy biernym opróbowaniu, należy postępować bardzo ostrożnie z wyciąganiem daleko idących wniosków co do otrzymanych wyników.

Wyniki obliczeń

Z uzyskanych modeli na uwagę, ze względu na wartość R^2 i wszystkich istotnych współczynników regresji, zasługują:

FILTRACJA

MODEL I

Zmienna zależna - ω_p Zmienne niezależne - $G, \rho, \gamma_{-56\mu m}, t_d, t_s, t_c, Z_f, T$

$$\ln \omega_p = 1,937 + 0,008 \gamma_{-56\mu m} + 0,00561 t_c - 0,007 Z_f$$

$$\begin{matrix} [0,080] & [0,001] & [0,00124] & [0,003] \end{matrix}$$

$$R^2 = 60,11\%$$

W nawiasach kwadratowych pod wartościami współczynników równań modeli podane zostały wartości odchylenia standardowego tych współczynników.

Po zwinięciu uzyskujemy postać:

$$\omega_p = e^{(1,937 + 0,008 \gamma_{-56\mu m} + 0,00561 t_c - 0,007 Z_f)}$$

MODEL II

Zmienna zależna - ω_p Zmienne niezależne - $G, \rho, t_d, t_s, t_c, Z_f, \gamma_{-56\mu m}, T$ Dla danych rzeczywistych parametru $\gamma_{-56\mu m}$ (17 obserwacji)

$$\omega_p = 14,415 + 0,111 \gamma_{-56\mu m} - 0,000800 G - 0,00890 t_d + 0,1477 t_c - 0,225 Z_f$$

$$\begin{matrix} [1,757] & [0,014] & [0,000115] & [0,00143] & [0,0261] & [0,067] \end{matrix}$$

$$R^2 = 90,65\%$$

MODEL III

Zmienna zależna - ω_p Zmienne niezależne - $G, \rho, \gamma_{-56\mu m}, t_f, t_d, t_s, t_c, Z_f$

$$\ln \omega_p = 1,975 + 0,006 \gamma_{-56\mu m} + 0,00076 t_f - 0,00034 t_s + 0,00574 t_c - 0,007 Z_f$$

$$\begin{matrix} [0,118] & [0,001] & [0,00044] & [0,00017] & [0,00116] & [0,003] \end{matrix}$$

$$R^2 = 51,25\%$$

Po zwinięciu uzyskujemy postać:

$$\omega_p = e^{(1,975 + 0,006 \gamma_{-56\mu m} + 0,00076 t_f - 0,00034 t_s + 0,00574 t_c - 0,007 Z_f)}$$

MODEL IV

Zmienna zależna - ω_p Zmienne niezależne - $G, \rho, \gamma_{-56\mu m}, t_f, t_d, t_s, t_c, Z_f$,Dla danych rzeczywistych parametru $\gamma_{-56\mu m}$ (22 obserwacje)

$$\omega_p = 15,640 + 0,076 \gamma_{-56\mu m} - 0,00061G - 0,00635t_d - 0,00797t_s + 0,16785t_c - 0,272Z_f$$

$$\begin{matrix} [2,564] & [0,017] & [0,00017] & [0,00239] & [0,00327] & [0,03949] & [0,101] \end{matrix}$$

$$R^2 = 74,78\%$$

MODEL V

Zmienna zależna - G Zmienne niezależne - $\rho, \omega_p, \gamma_{-56\mu m}, t_d, t_s, t_c, Z_f, T$

$$\ln G = -1,121 + 1,50 \ln \rho - 0,14 \ln \gamma_{-56\mu m} - 0,00039 t_d - 0,0013 t_c$$

$$\begin{matrix} [0,840] & [0,12] & [0,05] & [0,00007] & [0,0007] \end{matrix}$$

$$R^2 = 90,92\%$$

Po zwinięciu uzyskujemy postać:

$$G = e^{\left[-1,121 + \ln \left(\frac{\rho}{\gamma_{-56\mu m}} \right)^{10,71} - 0,00039 t_d - 0,0013 t_c \right]}$$

MODEL VI

Zmienna zależna - G Zmienne niezależne - $\rho, \omega_p, \gamma_{-56\mu m}, t_f, t_d, t_s, t_c, Z_f$

$$\ln G = -0,705 + 1,46 \ln \rho - 0,11 \ln \gamma_{-56\mu m} + 0,14 \ln t_f - 0,20 \ln t_d$$

$$\begin{matrix} [0,997] & [0,11] & [0,04] & [0,05] & [0,02] \end{matrix}$$

$$R^2 = 92,31\%$$

Po zwinięciu uzyskujemy postać:

$$G = 0,494 * \frac{\rho^{1,46} * t_f^{0,14}}{\gamma_{-56\mu m}^{0,11} * t_d^{0,20}}$$

MODEL VII

Zmienna zależna - G

Zmienne niezależne - ρ , ω_p , $\gamma_{.56\mu m}$, t_d , t_s , t_f , Z_f ,Dla danych rzeczywistych parametru $\gamma_{.56\mu m}$ (22 obserwacje)

$$G = -8,200 + 14161,590 \ln \rho - 2567,458 \ln \omega_p + 1356,997 \ln t_f - 1437,737 \ln t_d - 934,260 \ln t_s$$

[1,392]
[1573,779]
[827,493]
[584,203]
[474,003]
[424,841]

$$R^2 = 95,11\%$$

Po zwinięciu uzyskujemy postać:

$$G = -8,200 + \ln \frac{\rho^{14161,590} * t_f^{1356,997}}{\omega_p^{2567,458} * t_d^{1437,737} * t_s^{934,260}}$$

SUSZARKA

MODEL VIII

Zmienna zależna - ω_k Zmienne niezależne - ω_p , G, I, Q, T_{km} , T_w

$$\omega_k = -15,77 + 4,7480 \ln G + 6,31129 \ln I - 5,31934 \ln T_{km} - 4,007424 \ln T_w$$

[23,85]
[2,6343]
[1,18436]
[1,23629]
[2,160054]

$$R^2 = 56,33\%$$

Po zwinięciu uzyskujemy postać:

$$\omega_k = -15,77 + \ln \frac{G^{4,7480} * I^{6,31129}}{T_{km}^{5,31934} * T_w^{4,007424}}$$

MODEL IX

Zmienna zależna - I

Zmienne niezależne - ω_p , G, ω_k , Q, T_{km} , T_w

$$I = 106,85 - 6,1 \omega_p + 1,3 \omega_k + 0,05582 Q$$

[20,70]
[1,3]
[0,4]
[0,00950]

$$R^2 = 56,45\%$$

MODEL X

Zmienna zależna - Q

Zmienne niezależne - ω_p , G, ω_k , I, T_{km} , T_w

$$Q = -291,0 + 4,93 \omega_k + 0,76740 T_{km} + 7,779 T_w$$

$$\begin{array}{cccc} [48,0] & [2,51] & [0,09558] & [1,668] \end{array}$$

$$R^2 = 85,50\%$$

MODEL XI

Zmienna zależna - T_{km} Zmienne niezależne - ω_p , G, ω_k , I, Q, T_w

$$T_{km} = 9,8 + 0,000956 G + 1,033 T_r + 0,712 k$$

$$\begin{array}{cccc} [5,0] & [0,00052] & [0,006] & [0,303] \end{array}$$

$$R^2 = 99,89\%$$

gdzie: $T_r = T_{km} - T_w$

$$k = \frac{Q}{I}$$

MODEL XII

Zmienna zależna - T_{km} Zmienne niezależne - ω_p , G, ω_k , I, Q, T_w

$$T_{km} = 193,3 - 9,62 \omega_k + 1,07 I + 0,630 Q$$

$$\begin{array}{cccc} [25,1] & [2,41] & [0,59] & [0,063] \end{array}$$

$$R^2 = 83,96\%$$

MODEL XIII

Zmienna zależna - T_w Zmienne niezależne - ω_p , G, ω_k , I, Q, T_{km}

$$T_w = 18,8 + 0,000789 G - 0,382 \omega_k + 0,0361 Q$$

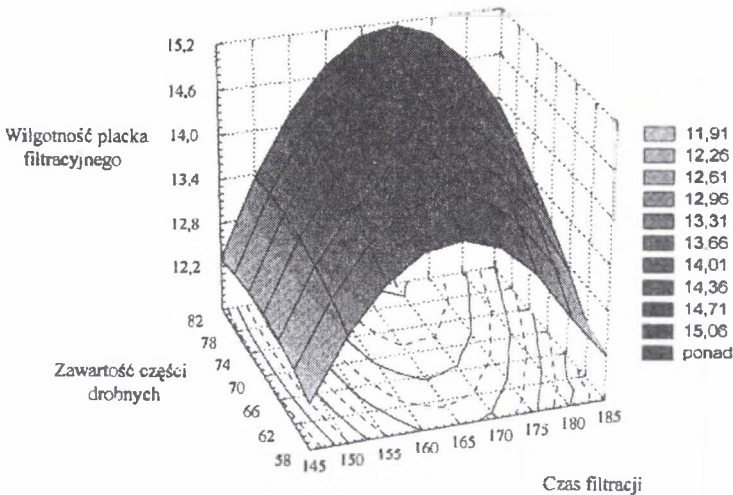
$$\begin{array}{cccc} [4,2] & [0,000467] & [0,156] & [0,0034] \end{array}$$

$$R^2 = 73,40\%$$

Uzyskane współczynniki przy zmiennych niezależnych dla procesu filtracji potwierdzają oczekiwany wpływ poszczególnych parametrów na uzyskiwaną wartość wilgotności placka filtracyjnego. Jedynie uzyskana dodatnia wartość współczynnika przy t_c nie jest zgodna z oczekiwaniem, czego powodem mogą być omówione wcześniej przerwy w pracy na oczyszczenie kanału spustowego. Wpływ pozostałych istotnych parametrów jest następujący:

- $\gamma_{-56\mu\text{m}}$ – wzrost zawartości ziarn drobnych utrudnia proces filtracji i powoduje uzyskanie większych wilgotności placka filtracyjnego,
- G – uzyskaniu większej masy placka filtracyjnego towarzyszy zmniejszenie jego wilgotności,
- t_f – wydłużenie czasu filtracji powoduje wzrost wilgotności placka (czas filtracji jest to czas pompowania nadawy do filtra, jest on ustawiany przez operatora na stałym optymalnym poziomie. Ponieważ w omawianym opróbowaniu został on zmieniony tylko jeden raz z poziomu 181 na 151, mogło to spowodować zbliżenie się lub niewielkie przekroczenie ekstremum, co spowodowało uzyskanie mniejszych wilgotności placka. Musimy jednak pamiętać, że w przypadku optymalizacji wieloparametrowej punkty optymalne poszczególnych parametrów nie są stałe, lecz podlegają wpływom zmian pozostałych parametrów w zależności od stopnia wzajemnej korelacji pomiędzy nimi). Powyższa uwaga dotyczy również wpływu danej zmiennej na zmienną zależną. Omawianą sytuację obrazuje rys. 3,
- t_d – wydłużenie czasu docisku powoduje zmniejszenie wilgotności placka filtracyjnego,
- t_s – wydłużenie czasu suszenia powoduje zmniejszenie wilgotności placka filtracyjnego,
- Z_t – wyższymi zawartościami części stałych w filtracie towarzyszy zmniejszona wartość wilgotności. Parametr ten, zgodnie z tym, co zostało już wspomniane w uwagach do danych pomiarowych, należy traktować jako kontrolny.

Uzyskane modele dla zmiennej zależnej G również potwierdziły oczekiwany wpływ rozpatrywanych parametrów na wartość masy placka filtracyjnego, zgodnie z którym wzrost gęstości nadawy oraz czasu filtracji powoduje uzyskanie większej masy placka filtracyjnego, natomiast jej zmniejszenie jest powodowane przez zwiększanie wartości parametrów – t_s , t_d , t_c , $\gamma_{-56\mu\text{m}}$, ω_p . Z porównania uzyskanych modeli procesu filtracji dla zmiennych zależnych ω_p , t_c , $\gamma_{-56\mu\text{m}}$, ω_p oraz G , a w szczególności wartości współczynnika R^2 wynika, iż dokładniej opisywane przez



Rys. 3. Zmiana wilgotności plačka filtracyjnego w zależności od zawartości części drobnych oraz czasu filtracji
 Fig. 3. Changes of filter cake moisture in dependence on the contents of fine particles and filter time

modele są zmiany zmiennej zależnej G . Może to wynikać z faktu, iż program obsługujący pracę filtra jest oparty na wadze plačka filtracyjnego, do której dostosowywany czas docisku ma zapewnić odpowiednią, gwarantowaną przez producenta, wilgotność plačka.

Wszystkie zaprezentowane modele procesu suszenia termicznego dla różnych wariantów zmiennej zależnej również potwierdzają oczekiwany wpływ parametrów opisujących. Uzyskane modele procesu suszenia w odróżnieniu od modeli procesu filtracji cechują niższe wartości statystyki Durbina-Watsona świadczące o wzajemnym skorelowaniu parametrów wchodzących w skład modelu. Dowodzi to słuszności postawionej na początku tezy, iż dalsze kroki w celu obniżenia kosztów odwadniania powinny prowadzić poprzez odpowiedni, w pełni kontrolowany i zoptymalizowany proces suszenia. Potwierdzają to również wykładnicze postacie modeli procesu filtracji świadczące o swego rodzaju „wysyceniu” zmiennej zależnej, z czego wynika brak możliwości znacznego obniżenia wilgotności plačka filtracyjnego poprzez optymalizowanie parametrów sterujących.

Przytoczone w niniejszej pracy modele stanowią wyselekcjonowaną część z całości uzyskanych modeli, których wszystkich nie sposób tutaj przytoczyć. Zarówno ich ilość, jak i uzyskane wartości współczynników dla różnych statystyk świadczą o możliwości modelowania obu procesów filtracji i suszenia termicznego. Różnorodność uzyskanych modeli stwarza

również możliwość uzyskania pożądanej postaci końcowej modelu w zależności od celu i potrzeb modelowania (optymalizacja, sterowanie, kontrola). Stanowią one przykład możliwości statystycznego opracowania danych przemysłowych, a zawarte uwagi mogą być pomocne przy planowaniu oraz przeprowadzaniu opróbowania przemysłowego. W celu uzyskania wymiernego efektu opróbowania, zgodnie z tym, co zostało już wcześniej wspomniane, należy ściśle przestrzegać rzetelności pobierania danych z pełną o nich informacją. Bardzo istotnym czynnikiem decydującym o sukcesie późniejszego opracowania statystycznego jest zgodność czasowa uwzględniająca opóźnienia danych maszyn przemysłowych oraz czasy odpowiedzi na zmianę pewnych parametrów sterujących czy też zakłócających. Przykładem na szerokość występujących aspektów w trakcie opróbowania jest nie omawiana w obecnym opracowaniu, a mająca również istotne znaczenie dla pracy filtra, zmiana pobierania nadawy z poszczególnych zagęszczaczy Dorra, decydująca o jej własnościach.

Wnioski

Przeprowadzona statystyczna analiza danych dowodzi możliwości modelowania procesu filtracji i suszenia termicznego w różnych kierunkach i dla różnych postaci końcowych użytkiwanych modeli. Uzyskane modele potwierdzają pogląd o możliwości obniżenie energochłonności procesu odwadniania poprzez obniżenie kosztów suszenia termicznego na drodze optymalizacji pracy suszarki, wymaga to jednak przeprowadzenia czynnego opróbowania przemysłowego suszarki. Wartości statystyk dla modelu XI są przykładem możliwości uzyskiwania dużej zgodności modelu z danymi opróbowania dla nowo powstałych zmiennych będących wynikiem przekształceń funkcyjnych z rozpatrywanych zmiennych.

Celem uniknięcia znacznych rozbieżności z rzeczywistością należy w trakcie opróbowania przemysłowego pobierać próbki do analiz oraz dane we właściwym czasie i oczywiście, we właściwy sposób. Koniecznym elementem modelowania jest dyskusja nad końcową postacią uzyskanego modelu oraz jego weryfikacja, brak tych elementów może spowodować wiele nieporozumień w interpretacji wpływu pewnych parametrów na badaną zmienną zależną.

Bardzo istotnym czynnikiem dla prawidłowej analizy statystycznej danych jest ilość obserwacji (liczba opróbowań) oraz możliwość badania szerokiego pasma zmian badanych pa-

rametrów, co w przypadku opróbowania przemysłowego biernego należy do rzadkości, znacznie utrudniając prawidłowe opracowanie danych.

LITERATURA

1. Podgórski J.: Statystyka z komputerem. Statgraphic, wersja 5 i 6, ZNI MIKOM, Warszawa 1995.
2. Dąbkowski J.: Statgraphics. System statystycznego opracowania danych, KOW „HELP”, Warszawa 1992.
3. Sobczyk M.: Statystyka, PWN, Warszawa 1995.
4. Kryszicki W., Bartos J., Dyczka W., Królikowska K., Wasilewski M.: Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach. Część II - Statystyka matematyczna, PWN, Warszawa 1997.

Artykuł jest wynikiem realizacji projektu badawczego KBN nr 9 T12A 015 14

Abstract

After modernisation of copper concentrate dewatering and drying systems and completing of measure and control apparatus the optimal control of processes is possible.

On the base of experiments carried out and collected data the regression equations were determined taking into account all possible control variables and measurable disturbances of a filtration process and thermal drying for different dependent variables. From obtained models the 13 best form was showed taking into account their R^2 values and obtaining significance level by regression coefficients (formulae 1 – 13). Models were be made for ω_p and G – humidity and mass of the filtration cake, respectively. The technological and statistical interpretations of obtained models was presented in the paper with respect on differences between models and reality.