ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: AUTOMATYKA z. 130 Nr kol. 1475

Artur MICHNIEWSKI, Paweł POTOCZEK, Ewa DUDEK-DYDUCH
Akademia Górniczo-Hutnicza

HARMONOGRAMOWANIE BATERII KOKSOWNICZEJ

Streszczenie. Artykuł dotyczy harmonogramowania pracy baterii koksowniczej. Prezentuje matematyczny model procesu oraz heurystyczny algorytm harmonogramowania, wykorzystujący symulację procesu. Przedstawiono wyniki eksperymentów symulacyjnych.

SCHEDULING OF COKE BATTERY

Summary. The paper refers to scheduling of a coke battery. A mathematical model of a coke battery process is presented. A heuristic algorithm for the scheduling is given. The algorithm is based on simulation. Results of simulation experiments are presented.

1. Wprowadzenie

Prezentowana publikacja powstała w wyniku współpracy pomiędzy Wydziałem EAIiE Akademii Górniczo-Hutniczej a Zakładem Automatyki Huty im. Tadeusza Sendzimira S.A. Stanowi ona rozszerzenie jednego z elementów obecnie działającego systemu sterowania Blokiem Koksochemicznym.

Funkcjonujący system sterowania Blokiem Koksochemicznym nadzoruje pracę maszyn piecowych. Pracuje w oparciu o statyczny harmonogram, generowany jednorazowo na określony przedział czasu i nie dający możliwości późniejszej modyfikacji. Harmonogram ten nie jest zadowalający – uwarunkowane zależnościami technologicznymi czasy wypalania węgla na koks (garowania) nie są dotrzymywane. Większość z 72 komór baterii koksowniczej produkuje koks przegarowany, co rzutuje na jego jakość, a tym samym na wyniki finansowe. Wysiłki załogi, ukierunkowane na przyspieszenie obsługi poszczególnych komór - choć przyspieszają ich obsługę - nie przynoszą efektów w skali całości harmonogramu. Próby te przynoszą natomiast znaczące rozbieżności pomiędzy czasami obsługi komór podawanymi przez harmonogram, a ich rzeczywistymi czasami obsługi, co czyni sam harmonogram bezużytecznym.

Celem artykułu jest zaprezentowanie algorytmu generacji harmonogramu maszyn piecowych oraz wykonanie programu komputerowego, który zastąpi obecny, wadliwie działający.

Dla zrealizowania tego celu konieczne było:

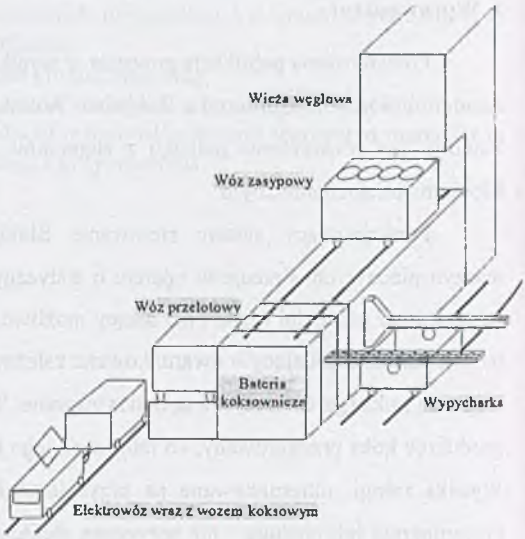
- przeprowadzenie dokładnej analizy funkcjonowania procesu technologicznego przy obecnie stosowanym harmonogramie, zarówno na poziomie pojedynczej komory, jak i całej baterii koksowniczej;
- stworzenie modelu matematycznego procesu;
- zaproponowanie algorytmów tworzenia harmonogramu w warunkach pracy normalnej (bezawaryjnej) i wybór najwłaściwszego z nich;
- wykonanie programu, generującego harmonogram pracy Bloku.

Kolejne rozdziały tego artykułu przedstawiają powyższe zagadnienia.

2. Opis ogólny piecowni Bloku Koksochemicznego

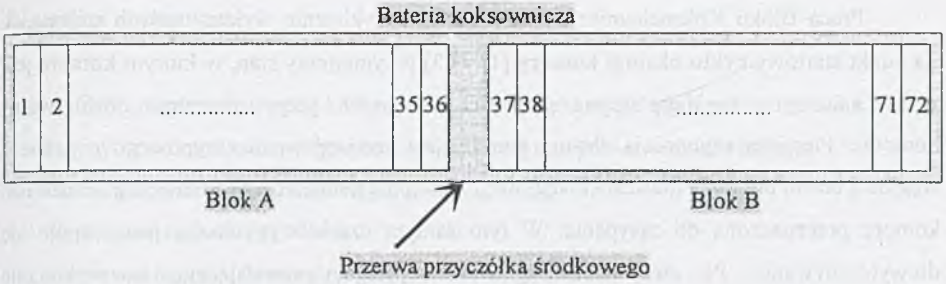
Blok Koksochemiczny jest częścią Wydziału Koksochemicznego Huty im. Tadeusza Sendzimira w Krakowie. Wydział ten jest obecnie najnowocześniejszym wydziałem kombinatu. Na wydziale tym produkowany jest koks. Rysunek 1 przedstawia schematyczny wygląd piecowni.

Bateria koksownicza typu PWR 63d [1] jest to zespół 72 komór koksowniczych, zgrupowanych w dwa bloki po 36 komór, umieszczone w jednej osi (rys.2.). Łączna długość baterii koksowniczej wynosi około 90 metrów. Pojemność jednej komory to około 24 tony mieszanki węglowej.



Rys.1. Schemat piecowni
Fig.1. Schema of cokery

Wieża węglowa [1] jest magazynem mieszanki węglowej dostarczanej z zewnątrz. W dnie wieży znajdują się trzy czterozaworowe zespoły, służące do napełniania wozu zasypowego.



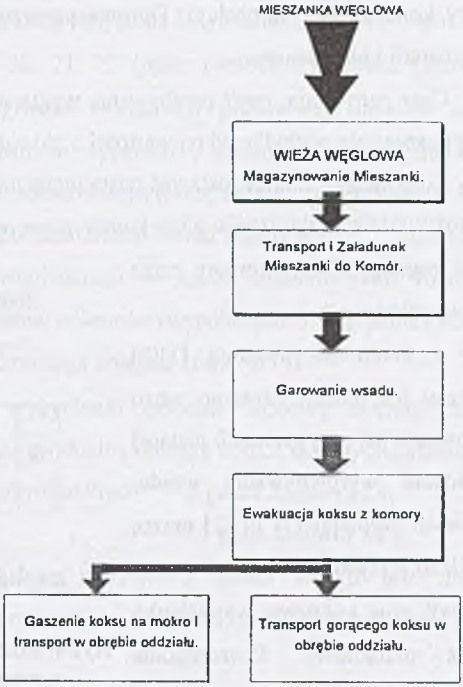
Rys.2. Schematyczny widok baterii koksowniczej z boku
Fig.2. Schema of coke battery

Wóz zasypowy [1] jest to urządzenie, służące do transportu mieszanki węglowej z wieży węglowej do komór koksowniczych. Jednorazowo wóz zasypowy może przetransportować zapas mieszanki, pozwalający na wypełnienie jednej komory. Oznacza to więc, że każdorazowo po zasypaniu komory wóz musi podjechać pod wieżę węglową celem napełnienia zasobników. Zadaniem wozu zasypowego jest także podłączenie wznośnicy do komory i umożliwienie odprowadzenia substancji smolistych podczas operacji wypchnięcia.

Wypycharka [1] jest odpowiedzialna za dwie czynności, tzn. wyrównywanie mieszanki podczas zasypywania oraz wypchnięcie gotowego koksu. Do wyrównywania mieszanki węglowej służy drąg wyrównawczy. Do wypchnięcia gotowego produktu służy drąg wypychowy.

Zadaniem wozu przelotowego [1] jest połączenie wylotu komory z pojemnikiem wozu koksowego na czas wypychania koksu z komory. Elektrowóz wraz z wozem koksowym odpowiada za transport gotowego koksu do wieży suchego gaszenia.

Rysunek 3 przedstawia schemat działania Bloku Koksochemicznego.



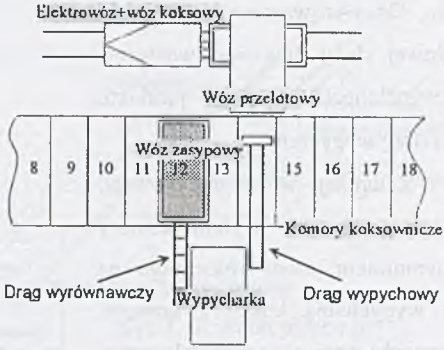
Rys.3. Schemat technologiczny pracy Bloku Koksochemicznego
Fig.3. Block schema of cokery work

Praca Bloku Koksochemicznego składa się z cyklicznie wykonywanych czynności. Za punkt startowy **cyklu obsługi komory** [1][2][3] przyjmujemy stan, w którym komora jest pusta, a maszyny znajdują się na pozycjach roboczych przy poprzednio obsługiwanej komorze. Pierwszą czynnością obsługi komory jest przejazd wozu zasypowego pod wieżę węglową celem pobrania mieszanki węglowej. Następnie pełny wóz zasypowy przejeżdża nad komorę przeznaczoną do zasypania. W tym samym czasie wypycharka pozycjonuje się do wyrównywania. Po otrzymaniu sygnału sterującego, zezwalającego na wykonanie czynności, następuje zasypanie komory z równoczesnym wyrównywaniem. Rozpoczyna się proces garowania wsadu trwający przeciętnie 16 godzin. Po upływie tego czasu maszyny otrzymują polecenie wykonania czynności wypchnięcia. W operacji tej uczestniczą wszystkie maszyny. Wypycharka ma za zadanie wypchnięcie koksu z komory za pomocą drąga wypychowego. Koks trafia do wozu koksowego poprzez wóz przelotowy. Wóz zasypowy wykonuje czynności pomocnicze polegające na obsłudze wznośnicy odprowadzającej lotne substancje smoliste. Koks przewożony jest do instalacji suchego gaszenia. Opróżnienie komory kończy cykl jej obsługi. Opisana powyżej obsługa powtarza się dla każdej z 72 komór baterii koksowniczej.

Czas garowania, czyli przebywania węgla w komorze, powinien wynosić 16 godzin [1]. Dopuszcza się odchyłkę od tej wartości o plus lub minus pół godziny.

Komora powinna pozostawać pusta przez możliwie krótki okres czasu. Związane jest to z możliwością uszkodzenia ścian komór przez wysoką temperaturę. Z ograniczenia tego wynika reguła: „Zasyp komorę zaraz po jej wypchnięciu".

W operacji zasypywania [1][2] konieczny jest udział zarówno wozu zasypowego, jak i wypycharki, mającej za zadanie wyrównywanie wsadu. W operacji wypchnięcia [1][2] muszą brać udział wszystkie maszyny, tj. wóz zasypowy, wóz koksowy, wypycharka i wóz przelotowy. Poszczególne maszyny wykonują swoje czynności sekwencyjnie. Wyjątkiem od tej reguły jest wypycharka. Może ona równolegle operować drągiem wyrównawczym i drągiem wypychowym [2] [3].



Rys.4. Rozmieszczenie maszyn podczas łączonej operacji zasypu-wypchnięcia
Fig.4. Arrangement of machines during join operation

3. Analiza obsługi baterii

Cykl pracy pojedynczej komory baterii koksowniczej składa się z czterech faz:

1. Zasypywanie mieszanką węglową z równoczesnym wyrównywaniem naboju;
2. Proces garowania (wypalania węgla na koks);
3. Wypchnięcie gotowego koksu;
4. Oczekiwanie pustej komory na ponowne napełnienie.

Istnieje możliwość zasypania komory i-tej z równoczesnym wypchnięciem komory i+2-giej i tak obsługiwane są tzw. „komory standardowe" [2][3]. Rysunek 4 przedstawia schematyczne ustawienie maszyn podczas połączonej operacji obsługi. Operacja ta składa się z operacji zasypywania i wypychania, wykonywanych jednocześnie.

Dla sytuacji, w której wszystkie możliwe operacje zostały zrównoleglone oraz wypycharka pracuje dwutorowo, zachodzi:

- średni czas na obsługę jednej komory Δt_s = 16 godz./72 komory = **13 min 20 s,**
- maksymalny czas wykonania łączonej operacji zasypania i wypchnięcia Δt_a = **11 min 40 s.**

Komory nr 01, 02, 35, 36, 37, 38, 71, 72 (patrz rysunek 2), zwane „komorami skrajnymi" [1], nie mogą być obsługiwane w ramach połączonej operacji zasypu-wypchnięcia. Komory 1, 2, 37, 38 są osobno wypychane, natomiast zasypywane łącznie z kolejnymi. Komory 35, 36, 71, 72 są osobno zasypywane, natomiast wypychane łącznie z kolejnymi. Pozwala to przyjmować dla obliczeń liczbę komór obsługiwanych indywidualnie jako równą 4 oraz liczbę komór obsługiwanych w cyklu łącznym jako równą 68. Po zakończeniu pełnego cyklu obsługi jednej z komór (wypchnięcie i zasypanie) maszyny zostają przestawione i może się rozpocząć obsługa kolejnej komory.

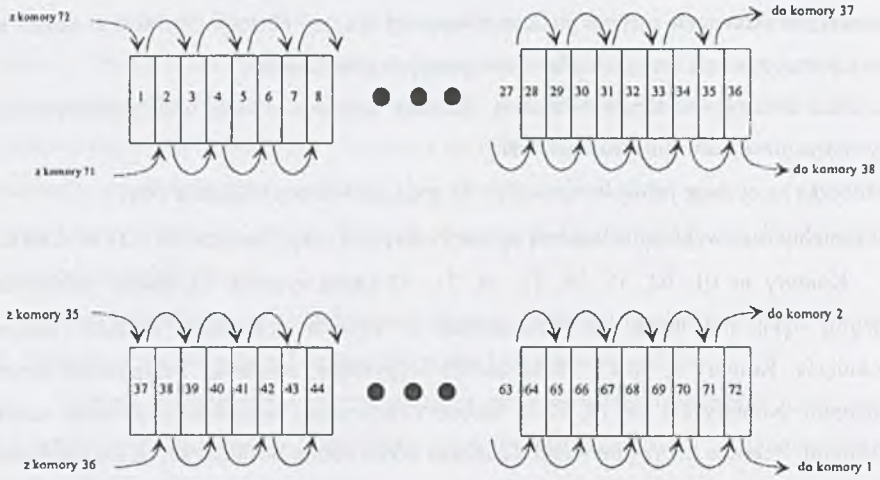
Przyjmując współbieżną pracę wypycharki podczas łączonej operacji zasypu-wypchnięcia komór standardowych oraz indywidualną obsługę komór skrajnych zachodzi:

- maks. czas obsługi wszystkich komór indywidualnych - **1 godz. 21 min 12 s,**
- czas obsługi całej baterii koksowniczej - **14 godz. 34 min 32 s.**

Łączny czas, potrzebny na obsługę wszystkich komór baterii jest mniejszy o 1 godz. 25 min i 28 s od czasu garowania w komorze, wymaganego przez proces technologiczny.

Komora powinna zostać zasypana niezwłocznie po wypchnięciu poprzedniego wsadu. Konstrukcja wypycharki (odległość pomiędzy drągiem wyrównawczym a wypychowym równa 2 szerokościom komór) wymusza w tej sytuacji przemieszczanie maszyny co dwie komory.

Cykl obsługi baterii [1] składa się z dwóch przebiegów od strony lewej do prawej. Dla uproszczenia rozważań za komorę startową przyjmiemy komorę nr 1, co spowoduje, że podczas pierwszego przebiegu będą obsługiwane komory o numerach nieparzystych. Drugi przebieg obejmie natomiast komory o numerach parzystych. Obsługę dwuprzebiegową przedstawia rysunek 5. Istotną sprawą jest kwestia czasu, w jakim wykonuje się cały cykl. Ponieważ maszyny przestawiane są w sposób dokładnie określony, przy danej komorze pracują dokładnie co okres cyklu. W tym czasie musi się odbyć cały proces garowania i to w sposób możliwie najbliższy optymalnemu (16 godzin). Prowadzi to do wniosku, że jeden cykl pracy koksowni powinien trwać dokładnie 16 godzin.



Rys.5. Cykl obsługi baterii koksowniczej
Fig.5. Service cycle of coke battery

4. Model matematyczny procesu

Ponieważ analiza pracy maszyn bazująca na modelu dwuprzebiegowym nastręcza duże trudności, proponujemy transformację modelu koksowni do postaci „jednoprzebiegowej". Transformacja polega na takim przenumerowaniu komór, aby kolejno obsługiwane komory leżały kolejno po sobie (rys. 6).

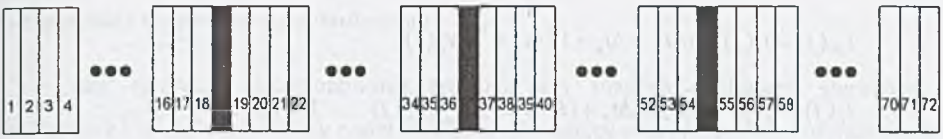
Transformacja prosta:

$$I = \begin{cases} \dfrac{i+1}{2} \text{ dla } i = 2n+1, & n \in N \\ \dfrac{i}{2} + 36 \text{ dla } i = 2n, & n \in N \end{cases}$$

Transformacja odwrotna:

$$i = \begin{cases} 2I - 1 & \text{dla } I \in \langle 1,36 \rangle \\ 2(I-36) & \text{dla } I \in \langle 37,72 \rangle \end{cases}$$

gdzie: i – numer komory rzeczywisty; I – numer komory po transformacji.



Rys.6. Bateria koksownicza po transformacji
Fig.6. Transformed numeration of coke battery

Pierwszy cykl jest cyklem rozruchu i polega wyłącznie na zasypaniu komór. Czasy rozpoczęcia obsługi komór muszą być liczone dla każdego cyklu obsługi koksowni. Z każdym bowiem kolejnym cyklem stan początkowy koksowni jest inny, wynikający z wykonania poprzedniego cyklu obsługi. Oznaczmy:

Δt_w – czas operacji wypchnięcia, Δt_z – czas operacji zasypu,
Δt_a – czas łączonej operacji zasypu – wypchnięcia,
$x_I(j)$ – czas oczekiwania po zakończeniu obsługi komory I-tej w j-tym cyklu (nieznany),
$\Delta T_I(j)$ – czas przebywania maszyn przy komorze I podczas cyklu j (zw. dalej „czasem obsługi")

$\Delta T_I(1)=\Delta t_z+x_I(1)$, I=1..72 j=1 (rozruch)
$\Delta T_I(j)=\Delta t_a+x_I(j)$, I=1..17, 20..35, 38..53, 56..71 j=2,3...
$\Delta T_I(j)=\Delta t_a+\Delta t_z+x_I(j)$, I=18,36,54,72 (komory skrajne wypychane w cyklu łączonym z I-1, zasypywane oddzielnie)
$\Delta T_I(j)=\Delta t_w+x_I(j)$, I=1,19,37,55 (komory skrajne wypychane oddzielnie, zasypywane w cyklu łączonym z I+1).

Czasy obsługi liczone są od momentu rozpoczęcia wypychania. Czasy Δt_a, Δt_z i Δt_w są znane i wynikają z uwarunkowań technicznych (praca maszyn podczas obsługi komory), natomiast czasy $x_I(j)$ mogą się zmieniać w zależności od bieżących potrzeb i mają być wyznaczone.

Δt_a = 11 min 40 s, Δt_z = 10 min 18 s, Δt_w = 10 min 00 s.

Jakkolwiek $x_I(j)$ może przyjmować dowolne wartości, to ze wstępnej analizy (tutaj pominiętej) wynika, że: 0 min 0 s $\le x_I(j) \le$ 1 min 40 s

Oznaczmy $t_I(j)$ – czas rozpoczęcia obsługi komory I-tej w cyklu j-tym. Dla pierwszego cyklu (j=1):

$$t_1(1) = 0, \qquad t_I(1) = (I-1)\Delta t_z + \sum_{k=1}^{I-1} x_k(1) \qquad I \in [2..72]$$

Dla kolejnych cykli (j=2,3,...) czas rozpoczęcia obsługi komór wynosi:

$$t_1(2) = t_{72}(1) + \Delta t_z + x_{72}(1)$$

$$t_1(j) = t_{72}(j-1) + \Delta t_a + \Delta t_z + x_{72}(j-1) \qquad j=3,4...$$

$$t_I(j) = t_1(j) + \Delta t_w + (I-2)\Delta t_a + \sum_{k=1}^{I-1} x_k(j) \qquad I=2...18 \quad j=2,3...$$

$$t_{19}(j) = t_1(j) + \Delta t_w + \Delta t_z + 17\Delta t_a + \sum_{k=1}^{18} x_k(j) \qquad j=2,3...$$

$$t_{20}(j) = t_1(j) + 2\Delta t_w + \Delta t_z + 17\Delta t_a + \sum_{k=1}^{19} x_k(j) \qquad j=2,3...$$

$$t_I(j) = t_1(j) + 2\Delta t_w + \Delta t_z + (I-3)\Delta t_a + \sum_{k=1}^{I-1} x_k(j) \qquad I=21...36 \quad j=2,3...$$

$$t_{37}(j) = t_1(j) + 2\Delta t_w + 2\Delta t_z + 34\Delta t_a + \sum_{k=1}^{36} x_k(j) \qquad j=2,3...$$

$$t_{38}(j) = t_1(j) + 3\Delta t_w + 2\Delta t_z + 34\Delta t_a + \sum_{k=1}^{37} x_k(j) \qquad j=2,3...$$

$$t_I(j) = t_1(j) + 3\Delta t_w + 2\Delta t_z + (I-4)\Delta t_a + \sum_{k=1}^{I-1} x_k(j) \qquad I=39...54 \quad j=2,3...$$

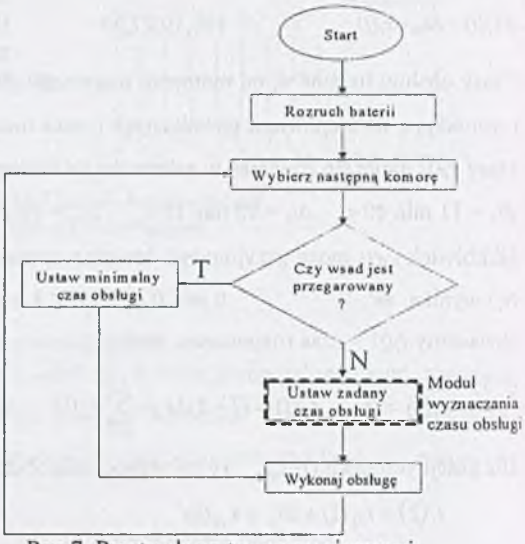
$$t_{55}(j) = t_1(j) + 3\Delta t_w + 3\Delta t_z + 51\Delta t_a + \sum_{k=1}^{54} x_k(j) \qquad j=2,3...$$

$$t_{56}(j) = t_1(j) + 4\Delta t_w + 3\Delta t_z + 51\Delta t_a + \sum_{k=1}^{55} x_k(j) \qquad j=2,3...$$

$$t_I(j) = t_1(j) + 4\Delta t_w + 3\Delta t_z + (I-5)\Delta t_a + \sum_{k=1}^{I-1} x_k(j) \qquad I=57...72 \quad j=2,3...$$

Aby wyznaczyć harmonogram, należy znaleźć wartości $x_I(j)$, tym samym rzeczywiste czasy rozpoczęcia obsługi komór $t_I(j)$ w kolejnych cyklach. Zbyt wczesne zasypanie komory powoduje przegarowanie jej wsadu, zbyt późne implikuje przegarowanie wsadów w dalszych komorach.

W obecnym systemie sterowania duża część komór jest niedogarowana lub przegarowana. Zatem istnieje konieczność stworzenia algorytmu harmonogramowania polepszającego ten stan, tak by czasy garowania we wszystkich komorach były możliwie bliskie 16 godz.: $TG_I(j)$ równe $t_I(j) - t_I(j-1) \approx 16$ *godz.*, gdzie $TG_I(j)$ – czas garowania w komorze I-tej w cyklu j–tym. Należy przy tym zaznaczyć, że przegarowanie wsadu jest dużo gorszą sytuacją niż niedogarowanie.



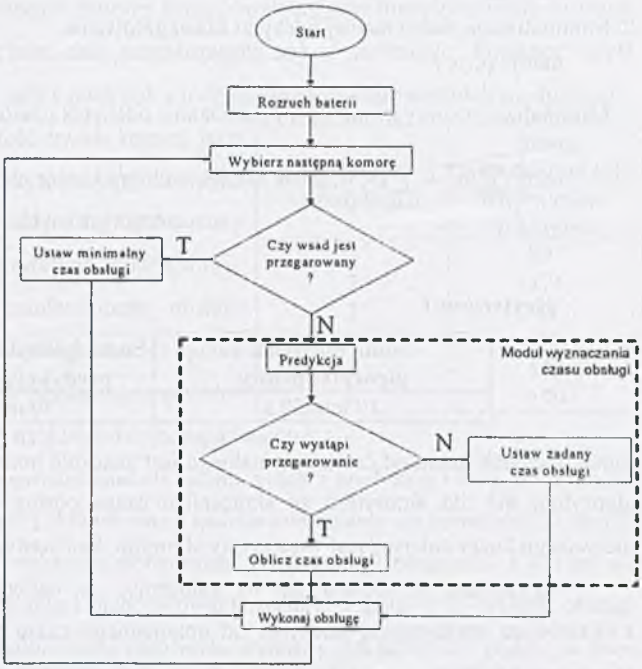
Rys.7. Prosty algorytm pracy piecowni
Fig.7. Simple algorithm of coke battery service

5. Algorytm i eksperymenty symulacyjne

Aby sprawdzić funkcjonowanie systemu przy różnych strategiach sterowania, opracowany i zaimplementowany został algorytm, symulujący pracę piecowni. Pozwala on na testowanie różnych wariantów obsługi komór przez dowolną liczbę cykli pracy. Dla cyklu rozruchowego przyjęto jednakowe czasy obsługi wszystkich komór równe 13 min 20 s (średni czas). Dla następnych cykli wykorzystywane były dwie wersje algorytmu sterowania różniące się modułem wyznaczającym czasy obsługi. W pierwszej wersji algorytmu komory obsługiwane są w zadanym czasie, dopóki nie wystąpi przegarowanie – wtedy obsługa wykonywana jest najszybciej jak to możliwe, i harmonogram „nadrabia" utracony czas.

Testy symulacyjne wykazały, że zarówno dla zadanych minimalnych czasów oczekiwania ($x_l(j)=0$), jak i maksymalnych czasów oczekiwania ($x_l(j)=1:40$), występuje zjawisko przegarowania wsadów. Wynika z tego, że praca w żadnym z reżimów czasowych o skrajnych parametrach nie gwarantuje poprawnej pracy systemu. Opóźnienie wprowadzane jest przez obsługę komór skrajnych.

Zwiększenie prędkości obsługi komór przed komorami skrajnymi zmniejsza opóźnienie wywołane obsługą komór skrajnych. Niech n będzie parametrem, oznaczającym liczbę komór przed komorą skrajną, w których przyspieszamy obsługę. W drugiej wersji algorytmu komory skrajne obsługujemy z maksymalną dla nich prędkością (w czasie 20 minut 18 sekund). Czasy obsługi komór standardowych przed komorą skrajną wyznaczamy w oparciu o przewidywane czasy przegarowania i niedogarowania $tp_l=TG_l-16$, skracając ich



Rys.8. Algorytm z predykcją
Fig.8. Algorithm using prediction

czas obsługi o $\tau_l = tp_l/n$. Z analizy zależności czasowych (tutaj pominiętej) wynika, że aby uniknąć przegarowania, musi zachodzić $n \geq 6$. Dla n=1,2,3,4,5 wystąpi zarówno przegarowanie, jak i niedogarowanie na niektórych komorach, dla n=0 – tylko przegarowanie. Powyższa idea przenoszona jest na wszystkie komory baterii.

Rysunek 7 przedstawia drugą wersję algorytmu pracy piecowni. Zawiera ona moduł symulujący proces dla n komór naprzód w celu sprawdzenia, czy nie wystąpi na nich przegarowanie i w przypadku przegarowania skracający czas obsługi komór o wartość τ_l. Przewidywanie oparte na symulacji nazwane jest „predykcją", a liczba komór, dla których następuje predykcja - „stopniem predykcji".

Jakość harmonogramu istotnie zależy od przyjętego stopnia predykcji n. Dlatego należy znaleźć odpowiednie n. Dla oceny jakości harmonogramu zaproponowano trzy poniższe kryteria:

1. Najmniejsza sumaryczna różnica odchyłek czasu garowania od wartości optymalnej

$\min\left(\sum_{l \in M} |tp_l|\right)$ gdzie M – zbiór indeksów komór niedogarowanych lub przegarowanych.

2. Minimalizacja maksymalnej odchyłki czasu garowania.

$\min\left(\max_l tp_l\right)$

3. Minimalizacja sumy kwadratów i sześcianów odchyłek czasów garowania.

$\min\left(\sum_{l \in M_1} tp_l^2 + \sum_{l \in M_2} tp_l^3\right)$, gdzie M_1, M_2 – zbiory komór niedogarowanych i przegarowanych.

Kryterium 1.

Suma odchyłek – algorytm prosty	Suma odchyłek – algorytm z predykcją o stopniu 6
19 min 50 s	30 min 27 s

Suma odchyłek czasu od czasu optymalnego jest znacznie mniejsza (19.50 min) dla prostego algorytmu niż dla algorytmu ze skracaniem czasu obsługi (30.27 min). Dla kryterium pierwszego korzystniejszy jest więc prosty algorytm, bez predykcji.

Kryterium 2. Opiera się na założeniu, że najlepsza dla systemu jest praca z najmniejszą maksymalną odchyłką od optymalnego czasu garowania. Nie ma przy tym znaczenia, czy komory zostaną przegarowane, czy niedogarowane. Porównanie uzyskanych wartości, przy różnym stopniu predykcji, przedstawia poniższa tabela.

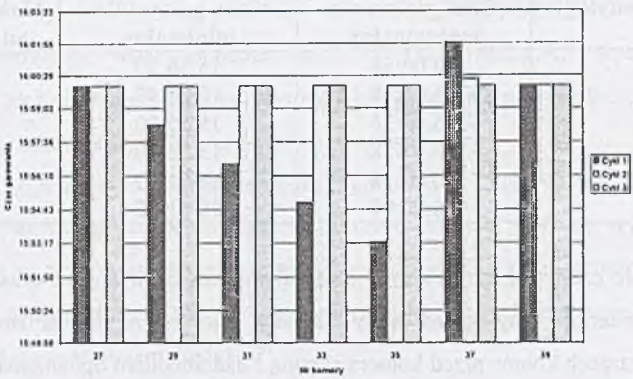
Stopień predykcji	Czas garowania maksymalny	Czas garowania minimalny	Maks. odchyłka od 16 godzin
1	16:06:58	15:58:20	6:58
2	16:05:18	15:56:40	5:18
3	16:03:38	15:55:00	5:00
4	16:01:58	15:53:20	6:40
5	16:00:18	15:51:40	8:20
6	16:00:00	15:51:22	8:38

Skracanie czasu dla trzech komór daje najmniejszą odchyłkę od czasu optymalnego (5 min). Dla kryterium drugiego najlepszy jest więc algorytm ze skracaniem czasu obsługi (predykcją) dla trzech komór przed komorą skrajną i nadrabianiem opóźnienia po obsłużeniu tej komory.

Kryterium 3. Dla tego kryterium ważna jest nie tylko wielkość odchyłki od czasu optymalnego, ale także jej kierunek. Z punktu widzenia produkcji koksu lepszy jest wsad niedogarowany niż przegarowany. Dlatego kierunek odchyłki decydować powinien o jej istotności. Odchyłka w kierunku wsadu przegarowanego jest znacznie mniej pożądana, niż w kierunku wsadu niedogarowanego. Autorzy zdecydowali się czas niedogarowania (wartość w sekundach) liczyć w kwadracie, czas przegarowania zaś w sześcianie. Poniższa tabela zawiera zestawienie wartości czasów odchyłek z uwzględnieniem odpowiednich modyfikacji. Porównanie wskazuje na wartość trzech komór, jako najlepszej liczby komór o przyspieszonej obsłudze (87). Niemal równie dobre wyniki osiągnięte zostały dla czterech komór (91). Dla kryterium trzeciego najlepszy jest algorytm ze skracaniem czasu obsługi (predykcją) dla trzech lub czterech komór przed komorą skrajną i nadrabianiem opóźnienia po obsłużeniu tej komory (odpowiednio na dwóch lub jednej komorze).

Stopień predykcji	Suma kwadratów lub sześcianów odchyłek
1	397
2	171
3	87
4	91
5	152
6	190

Testy symulacyjne, przeprowadzone dla reżimu pracy z predykcją i skracaniem czasu obsługi dla 3 komór przed komorą skrajną oraz z nadrabianiem czasu na komorach kolejnych w przypadku przegarowania, wykazały skuteczność przyjętego rozwiązania. Okazało się dodatkowo, że czasy przegarowania i niedogarowania malały w kolejnych cyklach obsługi baterii. W trzecim cyklu wszystkie czasy garowania wynosiły dokładnie 16 godzin, a więc sprowadzone zostały do wartości optymalnej technologicznie (rys. 9).



Rys.9. Czasy garowania (fragment) dla trzech kolejnych cykli
Fig.9. Burning times for three consecutive cycles

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono pierwszy etap badań, mających na celu poprawę sterowania baterią koksowniczą. Obecny system sterowania wyznacza harmonogram dalece niedoskonały, powodujący przegarowania i niedogarowania wsadów poszczególnych komór. W pracy zaprezentowano matematyczny model pracy baterii. Przedstawiono algorytm sterujący pracą baterii, wykorzystujący symulację. Wyniki eksperymentów symulujących proces przy zaproponowanym algorytmie harmonogramowania potwierdziły skuteczność opracowanego algorytmu.

LITERATURA

1. Gaździk A.: Dokumentacja techniczna i technologiczna Bloku Koksochemicznego. HTS S.A. cz. 2: Piecownia. Opracowanie wewnętrzne HTS S.A., Kraków 1998.
2. Gaździk A.: Schematy czasowe pracy maszyn piecowych.. Opracowanie wewnętrzne HTS S.A., Kraków 1999.
3. Mięsowicz A.: Automatyka maszyn piecowych Bloku Koksochemicznego HTS S.A. Opracowanie wewnętrzne HTS S.A., Kraków 1999.
4. Pearl J.: Heuristics: Intelligent Search Strategies for Computer Problem Solving. Addison-Wesley, Reading, MA, 1984.
5. Pidd M.: Computer Simulation in Management Science. Willey 1994.
6. Sysło M., Deo N., Kowalik J.: Algorytmy Optymalizacji dyskretnej. PWN, Warszawa 1993.

Recenzent: Prof.dr inż. H.Kowalowski

Abstract

The paper refers to scheduling of a coke battery in steelworks in Kraków (HTS.S.A.). The functioning computer control system generates a schedule that can not be modified dynamically. The generated schedule is not good enough because the normative coke burn time can not be observed for particular chambers of the coke battery.
The main aim of the paper is to present a new approach to scheduling of the coke batery. A description of coke battery and an analysis of the process are given in the paper. The analysis is a basis of a mathematical model that is worked out by the authors. The model is of the shape of nonlinear mathematical programming (under assumption of a fixed considered period of time). Three performance indexes are proposed and examined. The heuristic algorithm based on simulation is proposed and results of simulation experiments are presented. The experiments have confirmed effectiveness of the algorithm.