

Wybrane zagadnienia hierarchicznego sterowania i zarządzania w zakładzie przeróbki węgla – cz. I

Centralne sterowanie i zarządzanie złożonym obiektem przemysłowym, jakim jest zakład przeróbki węgla, jest uciążliwe i niedogodne. Z tego powodu stosuje się dekompozycję celu sterowania na kilka celów cząstkowych, które wyznaczają odpowiednie zadania cząstkowe. W pierwszej części artykułu omówiono zagadnienia dekompozycji funkcjonalnej (pionowej) i przestrzennej (poziomej) celu sterowania oraz warstwową strukturę sterowania i zarządzania w zakładzie przeróbki węgla kamiennego. Scharakteryzowane zostały ogólnie obecnie stosowane oraz postulowane rozwiązania w poszczególnych warstwach struktury hierarchicznej.

1. WSTĘP

Sterowanie to zamierzone wpływanie na obiekt sterowania w określonym celu. Sterowany obiekt podlega oddziaływaniom kontrolowanym i niekontrolowanym, które traktuje się jako sterowane i niesterowane wielkości wejściowe obiektu. Wielkości sterowane są wypracowywane w układzie sterowania, natomiast wielkości niesterowane są zakłóceniami, powodującymi odmienne, od zamierzonego, zachowanie obiektu. Aby układ sterowania prawidłowo określał bieżące sterowanie obiektu, musi prawidłowo ocenić stan obiektu, co realizowane jest za pomocą pomiarów parametrów wielkości wyjściowych, które charakteryzują sterowany obiekt.

Układ technologiczny zakładu przeróbki węgla kamiennego jest wielowymiarowym obiektem sterowania. Wejściami niesterowanymi są parametry technologiczne węgla surowego, wyjściami są parametry produktów handlowych i odpadów. Zakłócenia mogą być różnego typu: od krótko- i długoterminowych zmian parametrów nadawy, poprzez fluktuacje gęstości cieczy ciężkiej po wahania parametrów produktów [11]. Zakłócenia mają też różne źródła. Mogą to być zmiany petrograficzne węgla w złożu, sposób drążenia wyrobisk dołowych – co przekłada się na zmiany parametrów nadawy. Mogą to być zakłócenia elektromagnetyczne powodujące błędy transmisji danych w układach sterowania. Wreszcie znaczącą przyczyną zakłóceń działania układów sterowania są

niepewności pomiarów wielkości procesowych; w tym kontekście szczególnie należy zwrócić uwagę na niepewność pomiarów parametrów jakościowych produktów handlowych.

Cele sterowania w układzie technologicznym przeróbki węgla są różne. Jest oczywiste, że podstawowym, ekonomicznym celem jest uzyskanie maksymalnego zysku, jednak jego realizacja wymaga określenia i spełnienia wielu celów cząstkowych. Sterowanie układem technologicznym przeróbki węgla – układem o złożonej strukturze, o wielu wejściach sterowanych i niesterowanych oraz o wielu wyjściach, w którym wymagana jest terminowość wysyłki – ze swej natury jest skomplikowane [1, 2, 10, 13, 17, 19, 20, 21, 27, 34].

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU AUTOMATYKI PRZEMYSŁOWEJ

System automatyki przemysłowej składa się [38] ze sprzętu i oprogramowania. Do zasadniczych zadań takiego systemu należą:

- akwizycja wartości zmiennych charakteryzujących stan automatyzowanych procesów,
- ocena stanu tych procesów (analiza i archiwizacja danych pomiarowych),
- wypracowanie decyzji zapewniających osiągnięcie celów procesów poprzez przetwarzanie uzyskanych danych pomiarowych,

- bezpośrednio oddziaływanie na przebieg procesu lub przekazywanie decyzji do oceny operatorom,
- łączność między operatorami a procesami (przekazywanie wyników analizy i dokumentacji przebiegu procesów),
- testowanie poprawności funkcjonowania i sygnalizacja awarii.

Spośród wymienionych wyżej funkcji zdolność wypracowania decyzji jest najważniejszą cechą systemu automatyki przemysłowej. Decyzje te i ich realizację obejmuje się wspólną nazwą sterowania procesu. Wykorzystuje się w tym celu zmienne sterujące (sterowania), czyli zmienne procesowe, których wartości wyznacza system automatyki. Zależnie od sposobu prowadzenia procesu decyzje dzieli się na:

- wypracowane i realizowane automatycznie,
- wypracowane automatycznie, a realizowane przez operatorów procesów,
- wypracowane i realizowane przez operatorów procesów na podstawie informacji uzyskanych z systemu automatyki (analizy i dokumentacja przebiegu procesów albo zestaw decyzji eksperckich).

Wypracowanie decyzji jest czynnością skierowaną ku przyszłości, gdyż sterowaniu podlegają jedynie przyszłe stany procesu. Do wypracowania decyzji wykorzystywana jest znajomość zjawisk, jakie zachodzą w procesie. W tym celu konieczna jest znajomość wartości liczbowych skończonej liczby zmiennych procesowych, czyli stanu procesu, oraz zależności wiążących zmienne procesowe ze sobą i ze zmiennymi sterującymi, czyli modelu matematycznego procesu.

3. WARSTWOWA STRUKTURA STEROWANIA I ZARZĄDZANIA

Istnieje teoretyczna możliwość centralnego, automatycznego sterowania i zarządzania złożonym obiektem – układem technologicznym, jest to jednak bardzo niedogodne i zawodne, gdyż nawet niewielka awaria może doprowadzić do zatrzymania pracy całego obiektu. Kłopotliwa lub nawet niemożliwa może być konieczna ingerencja osób obsługi w proces nadzoru i reakcji na losowe zdarzenia; uciążliwe i kosztowne są bardzo liczne i rozległe połączenia poszczególnych elementów układu. Są to główne przyczyny, wynikające z wymagań bezpieczeństwa i analizy ekonomicznej, które powodują, że w sterowaniu obiektami złożonymi oraz w zarządzaniu (sterowaniu strategicznym) od kilkudziesięciu lat stosuje

się sterowanie hierarchiczne¹, w szczególności warstwowe [46].

Podstawową cechą struktury hierarchicznej jest dekompozycja celu sterowania – złożonego problemu decyzyjnego – na kilka kolejnych celów cząstkowych, czyli problemów decyzyjnych prostszych. Cele cząstkowe wyznaczają odpowiednie zadania cząstkowe. Dekompozycja celu sterowania dokonywana jest na dwa sposoby, stosowane razem, zwłaszcza przy złożonych obiektach sterowania. Pierwszym jest dekompozycja funkcjonalna, czyli pionowa, dzięki której selekcionuje się, wzajemnie hierarchicznie współzależne, cząstkowe cele sterowania, tworzące strukturę warstwową. W każdej warstwie wypracowane zostają odpowiednie decyzje sterujące tym samym obiektem, ale różne co do rodzaju i stopnia szczegółowości. Każda warstwa steruje więc tym samym obiektem, lecz każda w inny sposób.

Drugim rodzajem jest dekompozycja przestrzenna, czyli pozioma, dokonywana w ramach jednej warstwy struktury hierarchicznej, wynikająca ze struktury przestrzennej obiektu sterowania. Cząstkowe zadanie funkcjonalne, dotyczące danej warstwy, jest dekomponowane na mniejsze, lokalne podzadania, których funkcje są tego samego typu, lecz ilość przetwarzanej informacji jest mniejsza [46].

Zadania cząstkowe są prostsze (względem zadań sterowania centralnego), wymagają przetwarzania znacznie mniejszej ilości informacji oraz realizują z reguły tylko cele cząstkowe. Poszczególne zadania są wzajemnie ze sobą powiązane: pionowo, gdy są to zadania dotyczące różnych warstw struktury sterowania, lub poziomo, jeśli są to zadania cząstkowe w ramach tej samej warstwy. Taka struktura ma wiele zalet. Algorytmy sterowania w poszczególnych warstwach są realizowane w kilku jednostkach sterujących, co dokonywane jest równoległe, skracany jest więc czas wypracowania decyzji sterujących. Modyfikacje tych algorytmów są prostsze, gdyż ich zasięg jest ograniczony zarówno pionowo, jak i poziomo. Niezawodność systemu jest znacząco lepsza [38], awaria lokalnego układu regulacji nie pociąga za sobą konieczności przerwania ruchu całego zakładu.

Istotą struktury hierarchicznej jest dekompozycja podstawowego celu sterowania na kilka celów cząstkowych, różnych w poszczególnych warstwach, ale ukierunkowanych na spełnienie wspólnego celu strategicznego. Dwa najważniejsze cele cząstkowe to:

¹ Dysponujemy istotnymi przesłankami, iż struktura hierarchiczna stanowi jedyną efektywną metodę sterowania złożonych problemów decyzyjnych; wynika to z powszechności struktur hierarchicznych w przyrodzie, w organizacjach (administracyjnych, militarnych i społecznych) tworzonych przez ludzi i to od tysięcy lat, czy wreszcie z systemu gospodarki rynkowej [38].

bezpieczny przebieg procesów w sterowanym obiekcie oraz zapewnienie wymaganych cech produktów, np. parametrów jakościowych produktów handlowych. Trzecim najważniejszym celem jest optymalizacja działania obiektu sterowania, która przekłada się na maksymalizację wartości produkcji. Jednak dwa pierwsze cele cząstkowe również mają racje ekonomiczne. Wszelkie awarie powodują przeważnie spore straty ze względu na konieczny czas ich usunięcia i przerwy produkcyjne, co może być przyczyną nieterminowych dostaw – straty mogą być znacząco większe od strat spowodowanych produkcją nieoptymalną, ale bezpieczną. Nieprawidłowa jakość produktów może powodować konieczność płacenia kar umownych, w przypadku jakości gorszej od zakontraktowanej, lub utratę części zysku z powodu niezmiennych cen produktów, w przypadku lepszej ich jakości. Spełnienie tych dwóch celów cząstkowych umożliwia dopiero bieżącą optymalizację przebiegu procesów przerobczych. Taka właśnie jest kolejność realizacji tych celów w następnych, coraz wyżej położonych, warstwach sterowania struktury hierarchicznej [46].

W warunkach gospodarki rynkowej jednym z najbardziej istotnych obszarów działania w warstwach zarządzania, wraz z warstwą optymalizacji, jest zysk ekonomiczny zakładu czy przedsiębiorstwa². We wszelkiej działalności ekonomicznej występują trzy etapy procesu podejmowania decyzji, mianowicie: określenie kontekstu i celu decyzji, zbadanie różnych, możliwych do realizacji, wariantów produkcji oraz wybór optymalnego wariantu, czyli najlepszego z dostępnych [22]. Proces ten jest złożony, występuje tutaj istotna niepewność decyzji, a więc również konieczność podjęcia ryzyka, największego w zakresie zarządzania strategicznego.

W dalszym ciągu artykułu scharakteryzowana została warstwowa struktura sterowania i zarządzania układu technologicznego zakładu przeróbki węgla. Układ ten traktowany jest jako złożony obiekt sterowania.

3.1. Warstwowa struktura sterowania w zakładzie przeróbki węgla

Wspomniane wyżej trzy cele cząstkowe sterowania są realizowane w kolejnych warstwach struktury hierarchicznej, przedstawionej na rys. 1³.

² W przypadku górnictwa węgla kamiennego co najmniej równie istotnym celem działalności jest bezpieczeństwo energetyczne kraju, co nie zawsze przekłada się na właściwe decyzje na szczeblu rządowym [3, 6].

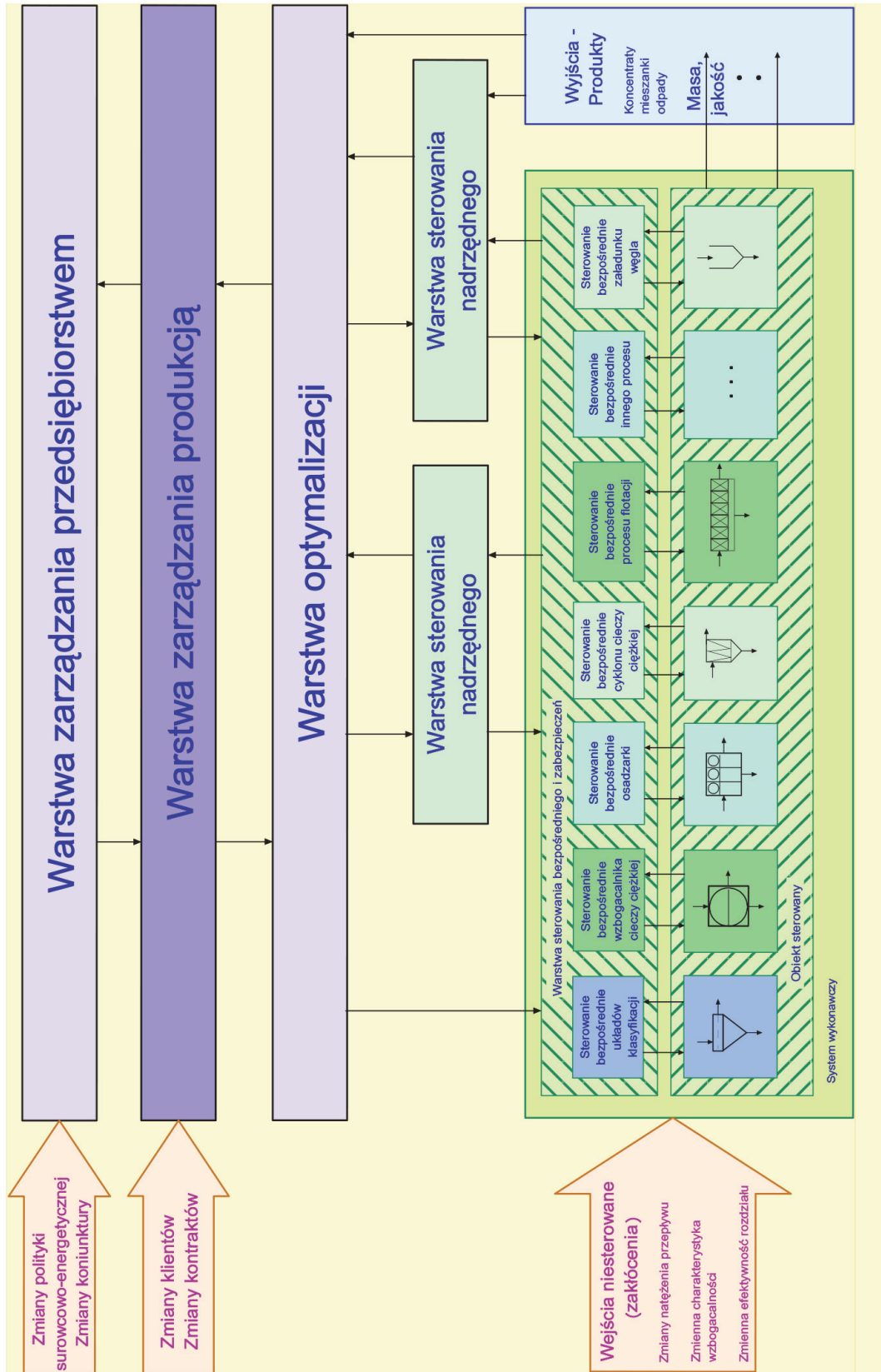
³ Przedstawiona warstwowa struktura funkcjonalna nie zawsze odzwierciedlona jest w strukturze sprzętowej. Tworzące ją układy sterowania bezpośredniego, komputery wykonujące algorytmy sterowania nadrzędnego oraz stacje operatorskie są

Warstwa sterowania bezpośredniego i zabezpieczeń

Obiektem sterowania jest zespół operacji tworzących układ technologiczny zakładu przeróbki węgla. Nad nim znajduje się warstwa sterowania bezpośredniego i zabezpieczeń⁴, której celem jest bezpieczne i prawidłowe działanie procesów dynamicznych w obiekcie. Dzięki dekompozycji przestrzennej jest ona podzielona na wiele układów regulacji (sterowników PLC, realizujących odpowiednie algorytmy regulacji bezpośredniej i regulatorów), oddziałujących na maszyny i urządzenia w konkretnych operacjach przerobczych. Warstwa ta zapewnić musi prawidłową sekwencję załączeń i wyłączeń poszczególnych maszyn i urządzeń w sterowanym procesie, kontrolować ich prawidłowy przebieg i wypracowywać odpowiednie reakcje w stanach awaryjnych. Jak widać, jest to jedyna warstwa sterowania, która ma bezpośredni dostęp do sterowanego obiektu, do wielkości sterowanych, i wraz z obiektem tworzy system wykonawczy. Regulacja bezpośrednia musi być względnie szybka; w wersji cyfrowej – a taka staje się coraz bardziej powszechna – algorytmy cyfrowej regulacji bezpośredniej cechują się dużą częstotliwością próbkowania (np. kilka razy na sekundę lub minutę).

łączone ze sobą w pełny system sieciami komputerowymi typu LAN lub przemysłowymi [24]. Często są to różne sieci (wynika to np. z łączenia ze sobą układów sterowania, wytworzonych przez różnych producentów i w różnym czasie). Istnieje wiele przesłanek przemawiających za tym, że w przyszłości powszechnie używanym standardem w zastosowaniach przemysłowych będą sieci Ethernet, gwarantujące bezpieczeństwo danych przy zwiększeniu ich dostępności. Przewiduje się, że w najbliższym czasie w systemach automatyki przemysłowej szybkość transmisji danych osiągnie standardową wartość jednego lub kilku Gbit/s [25, 37]. Jest to o tyle istotne, że zadania współczesnych, sieciowych systemów automatyki praktycznie dzielą się po połowie na właściwe sterowanie oraz transmisję danych i monitoring [47].

⁴ Właściwie pomiędzy obiektem sterowania a warstwą sterowania bezpośredniego można jeszcze wyróżnić, w ramach dekompozycji pionowej, niezaznaczone na rys. 1., trzy warstwy: *pomiarów*, *sterowania napędów* oraz *sterowania grup maszyn i urządzeń*. Warstwa pomiarów składa się z przetworników i urządzeń pomiarowych, które służą do wstępnego przetwarzania sygnałów pomiarowych [20, 37], np. filtracji, kompensacji temperatury czy programowej korekcji błędów systematycznych przetworników pomiarowych. W warstwie sterowania napędów załączane i wyłączane są przekładniki i styczniki według odpowiedniego algorytmu sterowania, wykorzystujące model logiczny sterowanego obiektu. Zadaniem tej warstwy jest doprowadzenie napędów do zadanego stanu pracy oraz zabezpieczenie i blokada napędów. Natomiast w warstwie sterowania grup maszyn i urządzeń wypracowywane są sygnały sterujące dla warstwy sterowania napędów [38]. Niekiedy, w ramach dekompozycji poziomej, z warstwy sterowania bezpośredniego i zabezpieczeń wyróżnia się odrębną *warstwę zabezpieczeń*, co wynika z tego, że funkcje zabezpieczeń spełniają inne, niezależne urządzenia, tworzące odrębny system zabezpieczeń [37].

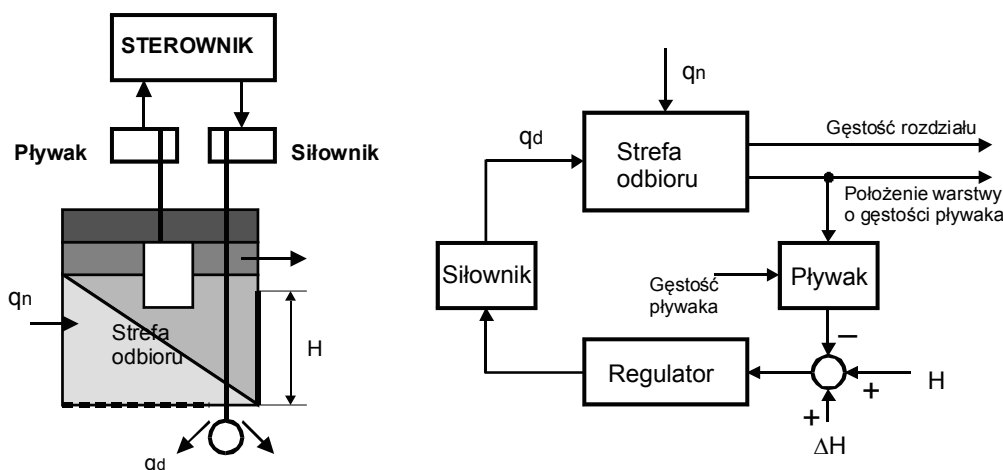


Rys. 1. Warstwowa struktura sterowania i zarządzania produkcją [49]

W warstwie sterowania bezpośredniego w zakładzie przeróbki węgla dokonywane są pomiary [9, 18]: poziomu węgla i cieczy w zbiornikach, przepływu cieczy zanieczyszczonych, gęstości cieczy ciężkiej i mułów węglowych, natężenia przepływu

węgla oraz zawartości popiołu i wilgoci w węglu na przenośnikach taśmowych; mierzony jest również czas pracy maszyn i operacji. Wykonywane są zadania regulacji automatycznej, m.in. stabilizacji: ilości nadawy kierowanej do zakładu bądź do poszczegól-

nych wzbogacalników, gęstości cieczy ciężkiej i poziomu cieczy w zbiornikach, warstwy produktu dolnego w osadzarkach. Realizowana jest kontrola procesów wzbogacania – np. w przypadku osadzarki dotyczy ona zadań automatycznej regulacji: odbioru produktu dolnego, ciśnienia powietrza czy sterowania cyklem pulsacji [9, 23, 33, 35]. Na tym poziomie dokonywane jest również sterowanie siłownikami zaworów i zasuw, maszynami elektrycznymi i urządzeniami przeróbczymi. Przykłady pomiarów, mode-



Rys. 2. Układ sterowania odbiorem produktu dolnego z osadzarki [14]

Warstwa sterowania nadrzędnego

Algorytmy sterowania nadzorujące pracę systemu wykonawczego, znajdujące się powyżej warstwy sterowania bezpośredniego, nazywane są sterowaniem nadrzędnym. Sygnały sterujące tej warstwy nie sterują wprost urządzeniami i elementami wykonawczymi, lecz stanowią wartości zadane algorytmów regulacji warstwy sterowania bezpośredniego. Algorytmy sterowania nadrzędnego pracują ze znacznie mniejszymi częstotliwościami (okres próbkowania może być rzędu kilku minut) niż algorytmy w warstwie sterowania bezpośredniego. Ich celem jest kontrola wolniej zmieniających się wielkości procesowych, decydujących o jakości produktów. Do tej warstwy sterowania należy zaliczyć automatyczne tworzenie mieszanek węgla energetycznego o zadanej jakości (zawartości popiołu i wilgoci) lub/i ilości [4, 14, 16, 18, 28], koordynację pracy różnych operacji przeróbczych, zarówno podstawowych, jak i pomocniczych, sterowanie np. grupą flotowników, grupą osadzarek czy automatyczny załadunek węgla do wagonów i ekspedycję.

W przeszłości nie rozróżniano warstw sterowania bezpośredniego i nadrzędnego, również obecnie warstwa regulacji nadrzędnej nie musi każdorazowo występować. Wyodrębnienie warstwy regulacji nadrzędnej wynika z rozwoju techniki komputerowej, dzięki której możliwe są zaawansowane obliczenia w trybie on-line, wykorzystujące modele procesów i algorytmy

le procesów, algorytmy sterowania stosowane w tej warstwie oraz konkretne rozwiązania techniczno-technologiczne są przedstawione w wielu opracowaniach, np. [2, 5, 9, 12, 15, 29, 30, 33, 35, 50, 51]. Na rys. 2. przedstawiony został przykładowo schemat poglądowy i blokowy układu sterowania odbioru produktu dolnego z osadzarki w rozwiązaniu tradycyjnym z pływakim, którego położenie powinno określać warstwę ziarn o gęstości równej gęstości rozdziału [14].

predykcyjne. Nawet gdy warstwa ta występuje, to nie musi ona zdecydowanie rozdzielać warstwy sterowania bezpośredniego od kolejnej warstwy optymalizacji. Pewne wartości zadane, wyznaczone w tejże warstwie, mogą być przekazywane bezpośrednio do warstwy sterowania bezpośredniego [46].

Warstwa optymalizacji

Warstwa optymalizacji znajduje się nad warstwami sterowania. Jej rola polega na wypracowywaniu bieżących optymalnych wartości zadanych zmiennych sterujących w odniesieniu do regulatorów warstw sterowania nadrzędnego i bezpośredniego⁵. Umożliwia to uzyskanie bieżącego, optymalnego punktu pracy obiektu sterowania, zapewniającego maksymalną wartość produkcji o zadanej jakości produktów. Dla warstwy optymalizacji obiekt sterowania łącznie z warstwami niższymi stanowi nieliniowy układ statyczny i rozwiązanie zadania optymalizacji statycznej prowadzi do wyznaczenia optymalnego punktu pracy. Punkt ten stanowi początkowe współrzędne (określone

⁵ Z punktu widzenia algorytmów optymalizacji statycznej zmiennymi sterującymi w przypadku wzbogacalników grawitacyjnych są gęstości rozdziału, definiowane tak, jak w teorii wzbogacania. W układzie sterowania bezpośredniego wartością zadaną jest natomiast często zawartość popiołu w koncentracie ze wzbogacalnika. Jednak przy określonej charakterystyce nadawy zależność między gęstością rozdziału a zawartością popiołu w koncentracie jest jednoznacznie określona.

wartościami zadanymi zmiennych sterujących do niższych warstw i uzyskiwanymi parametrami ilościowo-jakościowymi produktów) do optymalizacji bieżącej. Parametry tego punktu mogą być również zadawane z wyższej warstwy – zarządzania produkcją, na podstawie statycznego modelu obiektu. W dalszym ciągu w rozpatrywanej warstwie najczęściej stosuje się iteracyjne algorytmy optymalizacji bieżącej, w których na podstawie aktualnych pomiarów ilości i jakości produktów wyliczane są kolejno lepsze, poprawiane wartości. Optymalizacja bieżąca wynika z braku pełnej informacji o obiekcie, z niepewności pomiarów i oddziaływania zakłóceń. Algorytm optymalizacji działający w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego znacząco redukuje skutki tych niekorzystnych przyczyn. Częstotliwość rozwiązywania zadania optymalizacji bieżącej jest znacząco mniejsza od częstotliwości próbkowania algorytmów sterowania w warstwach niższych [46].

Warstwa optymalizacji spełnia też funkcje nadzoru i koordynacji. Niekiedy funkcje te realizowane są w wyodrębnionej, wyżej położonej warstwie nadzoru, diagnostyki i adaptacji [46].

Warstwa wizualizacji i obsługi

Warstwa ta – niezaznaczona na rys. 1. – obejmuje wszystkie dotąd scharakteryzowane warstwy i służy do współpracy systemu sterowania z operatorami, dyspozytorami produkcji, automatykami i innymi użytkownikami. Współpraca ta polega głównie na wyświetlaniu przebiegu procesów w poszczególnych operacjach przerobczych, a niezbędne do tego informacje są przetwarzane z niższych warstw. Do wizualizacji służą schematy synoptyczne, histogramy zmiennych procesowych, wykazy alarmów i innych zdarzeń w systemie. Do analizy dostępne są dane aktualne, rejestrowane i archiwizowane. Raporty generowane w tej warstwie dla konkretnych użytkowników mogą różnić się stopniem szczegółowości oraz zakresem chronologicznym [15, 37].

Wymienione wyżej warstwy struktury sterowania, ale bez obiektu sterowania, tworzą łącznie system sterowania. Obecnie systemy sterowania i systemy zarządzania są ze sobą łączone. Integracja polega na rozbudowie omawianej struktury hierarchicznej o kolejne, najwyższe położone, warstwy: zarządzania produkcją i zarządzania przedsiębiorstwem, przedstawione na rys. 1.

3.2. Warstwowa struktura zarządzania w zakładzie przeróbki węgla

Techniki komputerowe są coraz powszechniej wykorzystywane do rozwiązywania problemów decyzyjnych w zarządzaniu przedsiębiorstwem i produk-

cją⁶. Podobnie jak w dziedzinie sterowania, również w zarządzaniu najczęściej stosowaną metodą systemową jest metoda dekompozycji problemów złożonych na prostsze elementy i ustalenia ich hierarchicznych relacji, dzięki której możliwe jest określenie priorytetów różnych wariantów działalności gospodarczej przedsiębiorstwa [48].

Informacje i dane, które są wykorzystywane w procesach zarządzania i sterowania, mają różną postać i pochodzą z różnych źródeł. Dlatego są one automatycznie przetwarzane w systemach komputerowych, a decyzje podejmowane są na podstawie wyliczonych wskaźników techniczno-ekonomicznych, np. zysku czy wartości produkcji. Wskaźniki te są często używane jako wynik obliczeń optymalizacyjnych, w których przyjmowane są różne wariantowe kryteria – w szczególności wykorzystywane są algorytmy optymalizacji wielokryterialnej z różnego rodzaju ograniczeniami równościowymi i nierównościowymi [36].

Do zadań zarządzania przeznaczone są zintegrowane systemy informatyczne typu MES (*Manufacturing Execution Systems*) – są to systemy zarządzania-realizacji produkcji – oraz ERP (*Enterprise Resource Planning*) – systemy zarządzania przedsiębiorstwem-zasobami [31, 37].

Warstwa zarządzania produkcją

Powyżej warstwy optymalizacji znajduje się warstwa zarządzania produkcją, której rolą jest określenie celów, parametrów jakościowych produktów i ich ilości, czyli ustalenie warunków pracy warstwy optymalizacji, a w konsekwencji całego systemu sterowania i obiektu – układu technologicznego. W warstwie tej zachodzą oddziaływania związane z warunkami ekonomicznymi produkcji w układzie technologicznym. Częstotliwość interwencji w tej warstwie odpowiadać może czasowi kilku godzin, a nawet kilku dni [46].

Przy wielowariantowych założeniach produkcyjnych otrzymane wyniki obliczeń optymalizacyjnych są prognozą w odniesieniu do zadań planowania produkcji. Prognozy te dotyczą zarówno planów bieżących, taktycznych, jak i planów strategicznych [32, 36, 44]. Wybór w tej warstwie konkretnych, zoptymalizowanych wariantów produkcji pociąga za sobą przekazanie danych, dotyczących zadanych parametrów produktów oraz zmiennych sterujących w dół, do warstwy optymalizacji, w której realizowana jest optymalizacja bieżąca. W rozwiązywaniu zadań planowania produkcji stosuje się różne techniki i metody matematyczne, np.: bilansowe, ekstremalne, optymalizacyjne, ekonometryczne czy symulacyjne [36].

⁶ Przykładowo w pracy [26] podany jest system planowania produkcją w zakładzie przeróbki węgla, oparty na wiedzy.

Bardzo ważnym zadaniem warstwy zarządzania produkcją jest szeregowanie zadań produkcyjnych, a więc tworzenie harmonogramów produkcji w krótkim horyzoncie czasowym – rzędu zmiany produkcyjnej lub kilku dni⁷. W zakładzie przeróbki węgla harmonogramowanie może polegać na tworzeniu planu produkcji sortymentów handlowych o jakości zgodnej z kontraktami handlowymi, określeniu priorytetów produkcyjnych, wynikających np. z terminowości ekspedycji. Harmonogramowanie może również polegać na wielowariantowych analizach produkcji, zwłaszcza jeśli produkowane są różne sortymenty handlowe lub w zakładzie przeróbki węgla możliwe jest przewidywanie zmian własności technologicznych nadawy⁸. W odniesieniu do danego węgla surowego, o określonej wzbogacalności, istnieje optymalna jakość uzyskiwanego koncentratu [41]⁹, poszukiwanie najlepszych wariantów produkcji oraz jej harmonogramowanie może prowadzić do wymiernych korzyści ekonomicznych w postaci wzrostu wartości produkcji¹⁰. Czynnikiem utrudniającym w planowaniu i prognozowaniu produkcji są zakłócenia w otoczeniu zakładu przeróbki węgla, przykładowo znaczne odchylenia wielkości sprzedaży węgla. W latach 1996-2006 odchylenia te wynosiły od kilku do ponad 20% (sprzedaż krajowa), a nawet do 70-80% (sprzedaż na eksport) [49].

Warstwa zarządzania przedsiębiorstwem

W przeszłości, gdy tempo przemian gospodarczych było zdecydowanie wolniejsze niż obecnie, zarządzanie strategiczne w przedsiębiorstwach (w dzisiejszym rozumieniu tego terminu) polegało na przepro-

wadzeniu mało absorbujących i okazjonalnych analiz oraz planów [43]. W ostatnich kilkunastu latach mamy jednak do czynienia z zasadniczymi przemianami, spowodowanymi istotnymi zmianami gospodarczymi, i z radykalnym skróceniem czasu w decyzjach zarządzania strategicznego. Z tego powodu dotychczasowe, klasyczne sposoby zarządzania strategicznego stają się wręcz problematyczne, ponieważ cała ich metodologia nastawiona jest na mniej lub bardziej długotrwałe prognozy. Właśnie w przypadku planowania i rozwoju strategicznego pojawiają się szczególne komplikacje. Tradycyjne metody mogą być więc wykorzystywane tylko częściowo. Jednocześnie konieczne jest opracowanie i praktyczne zastosowanie nowych koncepcji zarządzania [52]. W przypadku przeróbki węgla kamiennego sytuacja jest z jednej strony dość klarowna i optymistyczna, gdyż węgiel pozostanie jeszcze długo źródłem energii [42], ale z drugiej strony nieprzewidywalne nieraz wahania koniunktury w skali światowej oraz nieprzemysłane i niekonsekwentne działania wobec górnictwa na najwyższych szczeblach decyzyjnych państwa silnie utrudniają prognozowanie strategii [8, 45].

Obecnie podczas realizacji strategii konieczny jest znacząco większy udział controllingu strategicznego, monitorowania na bieżąco wskaźników produkcji oraz elastycznej korekcji planów produkcyjnych, co stanowi oczywiście spore utrudnienie w odniesieniu do skutecznego zarządzania strategicznego [43]. Zagadnienia zarządzania strategicznego w przeróbce węgla kamiennego są inne w przypadku, gdy zakład ten jest częścią kopalni, a inne, gdy jest samodzielnym podmiotem gospodarczym. Zdaniem autora szczególnie ważna, na tym poziomie decyzyjnym, jest wiedza na temat optymalnych parametrów produktów handlowych, zapewniających maksymalną wartość produkcji całego zakładu. Te właśnie parametry powinny być uwzględniane przy podejmowaniu decyzji o kontraktach handlowych.

Zagadnienia modeli obiektu sterowania, optymalizacji bieżącej i planów produkcyjnych oraz podsumowanie całości zostanie przedstawione w drugiej części artykułu.

Literatura

1. Albrecht M.C.: *Optimizing process control*. "Coal", 1990, 95(10), p. 54-55.
2. Arad S., Cierpisz S.: *Computerized monitoring and control at the Coroesti coal-preparation plant*. International Symposium on Advances in Mining Technology and Management, Kharagpur, India, 30 XI – 2 XII 2005, p. 619-622.
3. Barszcz M., Kaliś H.: *Polityka energetyczna. Zagrożenia dla polskiej gospodarki*. „Nowa Energia”, 2009, nr 3(9), s. 14-22.
4. Bauer E.A., Hall A.E.: *A coal blending model – theory and application*. The II Canadian Conference on Computer Applications in the Mineral Industry, Vancouver, 15-18 IX 1991, p. 373-383.
5. Będkowski Z., Skruch B.: *Sprawność i skuteczność wzbogacania trójskładkowego w osadarkach typu Komag ze zmodernizowa-*

⁷ Należy tu zaznaczyć, że nie ma optymalnych harmonogramów, ponieważ problem ten nie ma ogólnego rozwiązania [48].

⁸ Zagadnienia te mają większą wagę w przypadku samodzielnych zakładów przeróbki węgla, w których węgiel surowy może pochodzić z różnych kopalń. Jednak również w zakładzie funkcjonującym w ramach kopalni węgiel surowy może pochodzić z różnych pokładów i jeśli jednocześnie transportowany jest różnymi szybami wydobywczymi lub do wzbogacania wykorzystywany jest również produkt przejściowy ze zwalów, to zachodzi sytuacja wzbogacania węgla o różnych własnościach technologicznych.

⁹ Zależy ona również od dokładności wzbogacania [7, 39] oraz struktury cen węgla [40]. Optymalne parametry jakościowe koncentratu zapewniają uzyskanie maksymalnej wartości produkcji tego koncentratu.

¹⁰ Przydatnym narzędziem szybkiego rozwiązywania zadań harmonogramowania, zwłaszcza w sytuacjach awaryjnych, może się okazać połączenie metod optymalizacyjnych i symulacyjnych z ekonometrycznymi. Układ technologiczny można podzielić na poszczególne ciągi wzbogacania węgla o różnych wymiarach ziarn, określić charakterystyki statyczne poszczególnych ciągów – obiektów ekstremalnych, a następnie z prognoz ekonometrycznych, np. nieliniowych modeli ekonometrycznych, a nawet funkcji produkcji, wyznaczyć najlepsze rozwiązanie zadania harmonogramowania.

- nym układem odbioru na przykładzie KWK „Rydultowy-Anna”. W: Materiały XII Konferencji Automatykacji Procesów Przeróbki Kopalni, Szczyrk, 31 maja – 2 czerwca 2006, s. 9-20.
6. Blaschke W.: *Perspektywy węgla w gospodarce świata i Polski – szanse polskiego węgla w Unii Europejskiej*. „Polityka Energetyczna”, t. 8, z. spec., WIGSMiE, Kraków 2005, s. 13-34.
 7. Blaschke W., Blaschke S., Aleksa H., Wierzchowski K.: *Analiza wpływu dokładności wzbogacania (imperfekcja) na wartość produkcji węgla energetycznego*. „Polityka Energetyczna”, t. 11, z. 1, WIGSMiE, Kraków 2008, s. 89-99.
 8. Buchwald P.: *Rola węgla w założeniach do bilansu paliwowo-energetycznego Polski*. W: Materiały Konferencyjne Kongresu Górnictwa Podziemnego, Gliwice 2010, s. 19-31.
 9. Cierpisz S.: *Automatyzacja procesów przeróbki mechanicznej węgla*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1980.
 10. Cierpisz S.: *Maksymalizacja produkcji w systemach wzbogacania i tworzenia mieszank węgla*. „Archives of Mining Sciences”, t. 25, z. 1, 1980, s. 107-124.
 11. Cierpisz S.: *Zakłócenia w układach sterowania produkcji mieszank węgla*. „Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa”, 1997, nr 3 (320), s. 28-33.
 12. Cierpisz S.: *Automatyczna regulacja w układach zawieszinowych wzbogacalników węgla*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
 13. Cierpisz S.: *Parametry jakości węgla – pomiary i sterowanie*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2005.
 14. Cierpisz S.: *Automatyczna regulacja procesu wzbogacania węgla w osadzarkach*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012.
 15. Cierpisz S., Cierpisz T., Głowacki D., Puczyłowski T.: *Komputerowe systemy sterowania w zakładach przeróbki mechanicznej węgla*. „Przegląd Górniczy”, 1994, nr 7-8, s. 49-55.
 16. Cierpisz S., Heyduk A.: *Dwuparametrowe sterowanie procesu produkcji mieszanki węglowej*. „Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa”, 2001, nr 11 (371), s. 36-43.
 17. Cierpisz S., Pielot J.: *Some aspects extreme control in coal concentrate production*. „Archives of Mining Sciences”, 44 (2) 1999, Katowice 1999, s. 225-235.
 18. Cierpisz S., Pielot J.: *Symulacyjne statyczne modele procesów i układów sterowania w zakładach wzbogacania węgla*, Monografia, nr 28, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
 19. Couch G.R.: *Coal preparation – automation and control*, IEA Coal Research, London 1996.
 20. Flintoff B. C., Mular A. L.: *A Practical Guide to Process Controls in the Minerals Industry*, Gastown Printers, Vancouver 1992.
 21. Gault G.A., Lyman G.J.: *Trends in Automatic Control in Australian Coal Preparation Plants*. „Coal Preparation”, 1989, v. 7, n. 3-4, p. 211-224.
 22. Gawrońska-Nowak B., Walerysiak G.: *Decyzje ekonomiczne. Ujęcie ilościowe*, PWE, Warszawa 2005.
 23. Głowiak S.: *Wybrane zagadnienia regulacji jakości produktów wzbogacania w osadzarkach*. W: Materiały XII Konferencji Automatykacji Procesów Przeróbki Kopalni, Szczyrk 31 maja – 2 czerwca 2006, s. 83-96.
 24. Grega W.: *Metody i algorytmy sterowania cyfrowego w układach scentralizowanych i rozproszonych*, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2004.
 25. Griffin R.: *Procesy integracyjne przemysłowych systemów sieciowych – ocena i analiza*. „Utrzymanie Ruchu”, 2010, nr 6 (64), s. 44-48.
 26. Guo X., Cheng J.: *Research on CAPP system coal preparation plant*, 29th International Symposium CAMI, Beijing, China, 25-27 IV 2001, p. 517-519.
 27. Gupta V., Mohanty M.K.: *Coal preparation plant optimization: A critical review of the existing methods*. „IJMP”, 79 (2006), p. 9-17.
 28. Jachnik E.: *Algorytm maksymalizacji ilości mieszanki o zadanej zawartości popiołu*. „Przegląd Górniczy”, 1987, nr 9, s. 24-28.
 29. Janitschek R., Pfeiffer G., Hofmann W.: *Elements of quality assurance of hard coal preparation products. Use of automatic sampling systems, on-line measuring instruments and laboratory computer systems*, XIV ICPCAE, Johannesburg 2002, p. 401-407.
 30. Kalinowski K.: *Automatyzacja zakładów wzbogacania węgla*, Skrypt Uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1031, Gliwice 1982.
 31. Klonowski Z.J.: *Systemy informatyczne zarządzania przedsiębiorstwem. Modele rozwoju i właściwości funkcjonalne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
 32. Kraszewska M.: *Wielopoziomowy system planowania produkcji na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa*. „Automatyka”, t. 12, z. 2, Wydawnictwa AGH, Kraków 2001, s. 295-304.
 33. Kumagawa K. (i in.): *Optimization of improved VARI-WAVE jig at Ikeshima Colliery*, XIV ICPCAE, Johannesburg 2002, p. 259-263.
 34. Lorang B.: *The Future Role of Information Technology Professionals in the Mining and Mineral Industry*, The 30th International Symposium CORMI, Littleton, USA, 2002.
 35. Lyman G.J.: *Review of jiggling principles and control*. „Coal Preparation”, 1992, v. 11, n. 3-4.
 36. Łukasik Z.: *Automatyzacja procesów sterowania i zarządzania*, PRW, Radom 2002.
 37. *Modelowanie, diagnostyka i sterowanie nadrzędne procesami. Implementacja w systemie DiaSter*, red. J. Korbiacz, J.M. Kościelny, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2009.
 38. Niederliński A.: *Systemy komputerowe automatyki przemysłowej, t. 2. Zastosowania*, WNT, Warszawa 1985.
 39. Pielot J.: *Analiza wpływu niedokładności wzbogacania węgla na uzyskiwane efekty ekonomiczne*. „Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa”, 2004, nr 6 (401), s. 34-43.
 40. Pielot J.: *Porównanie efektów wzbogacania w układzie technologicznym przy różnych formułach sprzedażnych węgla*. „Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa”, 2005, nr 9 (416), s. 27-37.
 41. Pielot J.: *Ocena wartości produkcji uzyskiwanej z węgla surowego o różnej jakości*. W: *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, nr 1736, s. Górnictwo, z. 273, Gliwice 2006, s. 291-304*.
 42. Pielot J.: *Wielokryterialna optymalizacja produkcji układów technologicznych grup wzbogacalników grawitacyjnych*, Monografia, nr 306, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
 43. *Podejście procesowe w organizacjach*, red. S. Nowosielski. W: *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, nr 52, Wrocław 2009.
 44. Sęk T.: *Metody i narzędzia projektowania systemów zarządzania*, Wyd. AGH, Kraków 2001.
 45. Sienkiewicz M.: *Węgiel a bezpieczeństwo energetyczne Polski*. „Nowa Energia”, 2009, nr 4(10), s. 48-51.
 46. Tatjewski P.: *Sterowanie zaawansowane obiektów przemysłowych. Struktury i algorytmy*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2002.
 47. Welander P.: *Integracja sieciowych systemów sterowania*. „Control Engineering”, 2010, nr 7 (70), s. 30-36.
 48. Witkowski T.: *Decyzje w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, WNT, Warszawa 2000.
 49. Wodarski K.: *Zarządzanie ryzykiem w procesie planowania strategicznego w górnictwie węgla kamiennego*, Monografia, nr 245, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.
 50. Zapala W.: *Technika mikroprocesorowa w automatyzacji zakładów przeróbki mechanicznej węglach*. W: *Seminarium elektryfikacji i automatyzacji kopalń*, red. F. Krasucki,), z. 10, Skrypt Uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1720, Gliwice 1992.
 51. Zapala W.: *Wybrane zagadnienia komputerowej identyfikacji i sterowania w kopalniach*. W: *Seminarium elektryfikacji i automatyzacji kopalń*, red. F. Krasucki, z. 10, Skrypt Uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1861, Gliwice 1994.
 52. *Zarządzanie strategiczne w badaniach teoretycznych i w praktyce*, red. A. Kaleta, K. Moszkowicz. W: *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, nr 20, Wrocław 2008.

Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.