

Automatyzacja procesów przemysłowych na przykładzie Laboratorium CBJ sp. z o.o.

Streszczenie: Rosnący poziom wymagań klientów dotyczących ilości informacji o produkcie, podnoszenia jakości wykonywanych usług oraz łączenia systemów informatycznych wymusza na usługodawcy zastosowanie możliwie najnowszych rozwiązań technicznych. Szczególnym przypadkiem jest laboratorium Centrum Badań Jakości sp. z o.o. (CBJ), wykonujące pomiary m.in. dla KGHM na skalę przemysłową, gdzie finalnym produktem jest informacja. Zbieranie danych o procesie przygotowywania prób do analiz, pomiary oraz optymalizacja procesu dla kilku tysięcy analiz dziennie, przy zróżnicowanych właściwościach fizycznych i chemicznych próbek, nie są możliwe bez automatyzacji procesu. W 2009 r. CBJ wspólnie z firmą Herzog podjął działania mające sprostać nowym wyzwaniom, zakończone otwarciem w 2011 r. nowego budynku z w pełni zautomatyzowanym parkiem maszynowym.

Nowa instalacja odpowiada za przygotowywanie próbek geologicznych i flotacyjnych do pomiaru metodą rentgenofluorescencyjną ilościowej zawartości miedzi, srebra oraz innych pierwiastków towarzyszących. Parkiem 30 współdziałających maszyn, w tym 4 robotów przemysłowych, zarządza komputer z dedykowanym oprogramowaniem. Z uwagi na różnorodność badanego materiału autorski system PrepMaster firmy Herzog nie tylko spełnia typowe funkcje HMI, ale przede wszystkim steruje każdą maszyną z osobna oraz ich współpracą. Każdy z badanych materiałów jest jedyny i niepowtarzalny, dzięki czemu system nadzoruje każdy etap przygotowania prób, odpowiada za wizualizację i śledzenie procesu oraz archiwizację danych. Zastosowanie kodów kreskowych do oznaczania unikatowych próbek daje możliwość automatycznego wyboru receptur, zgodnie z technologią pomiaru i życzeniami klientów. Ponadto system nadrzędny ma możliwość wymiany informacji z systemem typu LIMS, służącym do zarządzania badaniami całej spółki oraz do współpracy z klientami. Poprzez zastosowanie dwóch niezależnych linii maszyn dodatkowo uzyskano pewność działania w przypadku awarii.

Park maszynowy łączący mechanikę urządzeń, automatyzację procesu i informatyzację spółki przyniósł wiele korzyści, jakimi są: podniesienie jakości wykonywanych usług, zwiększenie liczby wykonywanych pomiarów, podniesienie bezpieczeństwa pracy, lepsza wymiana informacji z klientami.

Słowa kluczowe: automatyzacja, procesy przemysłowe, laboratorium, Centrum Badań Jakości.

Automation of the industrial processes based on the CBJ Ltd. laboratory example

Summary: The increasing level of the clients' requirements related to the amount of information about the product, improving the quality of the performed services as well as combining the IT systems, demands from the service provider to apply the latest technological developments. CBJ Ltd laboratory is a specific case which runs the tests, among others, for KGHM on mass scale and where the final product is the information. Data collection about the procedure of preparing the samples for the analyses, measurements and the optimization of the process for several thousand analyses daily with varied physical and chemical characteristics of the samples is not possible without the automation of the process. In 2009, together with Herzog company, CBJ undertook the steps to meet the new requirements which ended in opening, in 2011, of the new building with completely automated machinery.

New machinery prepares the geological and flotation samples to measure, with the use of X-ray fluorescence, the content of copper, silver and other chemical elements. The park with 30 compatible machines, in this 4 industrial robots, is controlled by a computer with dedicated software. Due to the variety of the examined material, not only does the original system PrepMaster, of Herzog company, perform the typical HMI functions, but mainly steers each machine separately and their cooperation. Each of the examined samples is the only one and unique, thus the system controls each stage of a sample preparation, is responsible for visualization and tracking of the process and its backup. The use of the bar codes to mark the unique samples, enables to choose automatically the recipes according to the measurement technology and the clients' demands. Moreover the control system can exchange the information with the other one, LIMS system type, which manages the works of the whole company and cooperates with clients. By implementing the two independent sets of machines the ongoing and undisturbed process is ensured, in case there is an emergency.

The machine park combining the mechanics of the machines, automation of the process and implementation of the IT solutions has been greatly beneficial, i.e.: the increase of the quality of the services provided, the increase of the amount of performed tests, the increase of the work safety, enhanced information exchange with clients.

Keywords: automation, Centrum Badań Jakości, KGHM, CBJ, industrial process, laboratory

1. Wprowadzenie

Centrum Badań Jakości sp. z o.o. jest laboratorium badawczym wywodzącym się ze struktur KGHM Polska Miedź. Najliczniej są wykonywane przez spółkę analizy chemiczne na potrzeby właściciela dla potrzeb procesowych i kontroli jakości produktów. CBJ posiada jednak również ponad 4860 akredytowanych metod badawczych w zakresie badań:

- rud miedzi i produktów jej przerobu,
- środowiska naturalnego,
- czynników szkodliwych i uciążliwych na stanowiskach pracy,
- żywności,
- biomasy,
- odpadów.

Wśród najliczniej wykonywanych pomiarów są analizy procentowej zawartości pierwiastków w rudzie miedzi realizowane na spektrometrach rentgenofluorescencyjnych XRF na potrzeby Oddziałów Górniczych oraz Zakładów Wzbogacania Rud. Oprócz ilościowej zawartości pierwiastków miedzi w próbkach dokonuje się również pomiarów zawar-

tości srebra, ołowiu, cynku, arsenu, niklu, kobaltu, wapnia, żelaza, siarki, molibdenu, manganu, wanadu, chloru, tlenków krzemu, magnezu, glinu. Aby dokonać analiz zawartości takiego spektrum pierwiastków techniką XRF, próbki muszą być poddane obróbce i odpowiednio spreparowane. Proces przygotowania jest utrudniony z racji obróbki i pomiaru próbek z różnych etapów przerobu rudy miedzi (od eksploracji, poprzez wydobycie, do procesu wzbogacania rudy), różnych właściwości fizycznych poszczególnych skał rudy miedzi (piaskowce, dolomity, łupki) oraz różnych rejonów wydobycia rudy, a co za tym idzie, zmiennych właściwości zarówno fizycznych, jak i chemicznych różnych form geologicznych dostarczanych próbek.

Przed uruchomieniem linii automatycznego przygotowania próbek wszystkie etapy procesowe suszenia, kruszenia wstępnego, uśredniania próbek, rozdzielania większych próbek na mniejsze, mielenia dokładnego, prasowania, czyszczenia elementów roboczych po każdej próbce wykonywane były przy pomocy prostych urządzeń obsługiwanych ręcznie. Przy zwiększającej się liczbie zleceń dużą rolę zaczął odgrywać problem czynnika ludzkiego związany z błędami w identyfikacji próbek, wypadkowością wynikającą z potrzeby wyciągania ciężkich elementów urządzeń roboczych do odzyskiwania próbek i czyszczenia oraz ciągle potrzeba zwiększania zatrudnienia. W związku z powyższym zamiast zwiększać park maszynowy prostych urządzeń i zatrudnienie, CBJ zlecił zautomatyzowanie procesu firmie Herzog, potentatowi w branży produkcji maszyn dla potrzeb laboratoryjnych.

2. Identyfikacja prób

Jednym z najistotniejszych elementów procesu przygotowania jest identyfikacja materiału do pomiaru. Problem poprawnego określenia rozwiązano poprzez połączenie systemu informatycznego LIMS (*Laboratory Information Management System*) z systemem SCADA. System informatyczny nie tylko pełni rolę bazy danych wyników pomiarów, ale również służy do komunikowania się z klientem. Klient określa rodzaj materiału, rejon poboru oraz interesujące go zawartości pierwiastków. Informacje te są przetwarzane i przekazywane do systemu LIMS przed fizycznym przekazaniem próbek, co zwiększa również możliwości planowania procesu. System LIMS może również współpracować z innymi systemami klientów, np. systemem ISZES używanym przez oddziały geologiczne KGHM.

Przed przystąpieniem do preparacji próbek operator maszyn na stanowisku sprawdza stan faktyczny dostarczenia prób ze stanem zleconym przez klienta, po czym potwierdza zgodność w systemie LIMS. Po potwierdzeniu są generowane odpowiednie kody kreskowe na przylepnych etykietach. W kodzie zawarte są unikatowy numer laboratoryjny próby dla jednoznacznej identyfikacji oraz symbol receptury dla systemu PrepMaster (SCADA).

3. Wstępny proces przygotowania

Wstępny proces obejmuje głównie próbki geologiczne, które trafiają do laboratorium w formie litej lub rozbitej skały o wadze od 200 do 1000 g. Zgodnie z technologią, próbka jest wstępnie poddana suszeniu i stopniowemu rozdrabnianiu, po których musimy uzyskać ok. 60 g próbki jednolicie uśrednionej, a 95% otrzymanej próbki musi mieć wielkość ziarna poniżej 1 mm.

Za wstępny proces przygotowania odpowiadają dwa podajniki prób, dwie suszarki, dwie kruszarki szczękowe oraz cztery kruszarki młódczowe. Urządzenia obsługiwane są przez dwa roboty przemysłowe ABB IRB4600. Próbki są przenoszone w metalowych misach oraz kubkach pomiędzy poszczególnymi maszynami. Są one używane w obiegu zamkniętym, czyszczone powietrzem po spełnieniu swojej funkcji i odstawiane na miejsca postojowe, gdzie czekają na przyjęcie kolejnej próby do przeróbki. W jednym momencie we wszystkich wymienionych maszynach może się znajdować łącznie 129 próbek, a PrepMaster podejmuje decyzje, które próbki mają być kolejno przerabiane zgodnie z programem decyzyjnym systemu i określonymi priorytetami kolejnych etapów przerobu.

Podajniki prób są złożone z trzech segmentów przenośników łańcuchowych, wagi tensometrycznej oraz wilgotnościomierza optycznego. Pierwszy przenośnik odpowiada za odbieranie pustych tac na próby od robota i transport do miejsca załadunku. Jeżeli system zasygnalizuje gotowość do przyjęcia próby, operator skanuje kod kreskowy z numerem laboratoryjnym próbki i recepturą przerobu. System PrepMaster tworzy wirtualny arkusz roboczy dla danej próbki, gdzie archiwizowane są wszystkie informacje dotyczące próbki, aktualizowane po każdym etapie przerobu. Następnie pusta taca jest przekazywana na drugi segment. Drugi przenośnik jest miejscem załadunku, gdzie przed wrzuceniem próbki taca jest tarowana i ponownie ważona po załadowaniu próby. Jeżeli waga próby mieści się w zadeklarowanym zakresie, taca przekazywana jest na trzeci segment maszyny, gdzie następuje sprawdzenie wilgotności powierzchni próby. Dalej próba transportowana jest do kręgu robotów, gdzie system podejmuje decyzję, do której maszyny podać tacę z próbą, zgodnie z recepturą, aktualnym stanem urządzeń i obciążeniem.

Kolejnym etapem przygotowania próbki są piece suszarnicze, w których znajduje się 50 miejsc dla suszonych prób oraz magazynowanych pustych tac. Nadzór nad poszczególnymi pozycjami w suszarce pełni PrepMaster, tzn. piec nie posiada czujników obecności tac na poszczególnych pozycjach, a detekcja tac i identyfikacja numeru laboratoryjnego na pozycjach jest całkowicie wirtualna w systemie. System również nadzoruje czas, jaki jest potrzebny do wysuszenia próby, obliczany na podstawie danych z podajnika prób, czyli wagi próbki i wilgotności jej powierzchni. Urządzenie posiada jednak automatykę do otwierania poszczególnych lameli frontowych w zależności od pozycji, na którą wkładana jest taca. Dzięki temu piec suszarniczy nie wychładza się w czasie pracy.

Próbka geologiczna po wysuszeniu przechodzi standardowo przez kruszarkę szczękową. Robot przekazuje tacę do kruszarki, jeżeli status próbki w piecu jest oznaczony w systemie jako wysuszony. Następuje tu wstępne rozkruszenie próby do wielkości średnicy ziarna poniżej 25 mm. Kruszarka wyposażona jest w automatykę do dystrybucji próby do szczęk kruszących, czyszczenia powietrzem i szczotkami tacy po dozowaniu, czyszczenia pneumatyką wnętrza maszyny po kruszeniu oraz dozowania skruszonej próby i umieszczania jej w metalowych kubkach oraz ważenia próby. Po czyszczeniu tacy po próbie robot przekazuje wyczyszczone tacę do podajnika prób lub pieca suszarniczego, w zależności od stanu procesu.

Po zważeniu próbki w kruszarce szczękowej robot ma pozwolenie do przekazania próby do drugiego etapu, jakim jest kruszenie młódką. Znajduje się tutaj przenośnik wibracyjny, który poza transportem miesza próbę i stopniowo dozuje, umieszczając ją w młódku. Nagłe wsypanie całej próby może spowodować zatkanie obrotowego młódku. Moduł młódku składa się z dwóch głównych elementów: leja i dopasowanego do niego stożkowego młódku. Szczelina pomiędzy głównymi elementami modułu ma 1 mm, dzięki czemu większe ziarna próby zatrzymują się na szczelinie i są jednocześnie rozcierane przez młódkę i mieszane, póki nie osiągną 1 mm. Ziarna, spadając, grawitacyjnie dostają się do kolejnej części maszyny, czyli rozdzielacza prób. W celu powtórzenia pomiarów dla klienta lub wykonania innych analiz, np. na mikroskopie MLA, wstępnie przygotowane próby są archiwizowane długoterminowo. Dlatego w kolejnym etapie przygotowania próby rozdziela się ją na dwa kubki: metalowy – dla dalszego przygotowania próby oraz plastikowy – dla potrzeb archiwizacji. Proces kruszenia i rozdzielania jest uzależniony od danych materiału z receptury, wagi próbki z wyjścia kruszarki młódkowej oraz czujnika elektrostatycznego. Czujnik elektrostatyczny działa na zasadzie ładowania ładunkiem elektrostatycznym skruszonych ziaren na wlocie oraz rozładowywania po wyjściu z czujnika. Uływ ładunku elektrostatycznego określa fakt skruszenia całego materiału i zakończenia kruszenia lub nie. Waga i współczynniki materiałowe służą do określania prędkości obrotowej dozownika, tak aby pobierać materiał zarówno z początku kruszenia, jak i końca. Znaczą to, że w trakcie kruszenia i dozowania część materiału trafia do systemu odpylania, a właściwa próbka jest dozowana do kubeczków z określoną częstotliwością przez cały okres procesu kruszenia. Po zakończeniu dozowania próbki do kubków następuje czyszczenie wnętrza maszyny przed przyjęciem następnej, kubki są transportowane do kręgu małych robotów i rozpoczyna się proces właściwego przygotowania próby do pomiaru.

4. Właściwy proces przygotowania

Właściwy proces przygotowania próbek jest obsługiwany przez dwa roboty ABB IRB2400, pięć młynków, trzy prasy i dwa magazynki odstawcze. Przebiega tu proces przygotowania próbek dla wszystkich badań na spektrometrach XRF. Receptury i określenie

materiału jest tu niezwykle istotne. Każdy materiał poza wstępnymi wymaganiami określonymi wg wytycznych producentów urządzeń pomiarowych ma określone empirycznie dane technologiczne. Przygotowane są oddzielne miejsca do zadawania próbek tylko od etapu przygotowania właściwego, gdzie receptury również są określone za pomocą kodów kreskowych.

Próbka we właściwym etapie jest przekazywana przez robota najpierw do młynka. System podejmuje decyzję, który młynek jest nieobciążony oraz jakie młynki są dostępne wg konkretnej receptury przygotowania próby. Maszyny oczywiście posiadają układy automatycznego dozowania objętościowego oraz czyszczenia wnętrza po każdym cyklu pracy. W celu poprawnej analizy składu chemicznego promieniami X ziarna materiału muszą być rozdrobnione do poziomu poniżej 40 mikrometrów. Parametr ten jest sterowany m.in. prędkością obrotową silnika młynka mimośrodowego za pomocą przetwornicy częstotliwości. Najważniejszym i najbardziej kosztownym elementem młynka jest misa mieląca wolframowo-węglowa o bardzo dobrej wytrzymałości na ścieranie, lecz bardzo krucha. Stopniowy wzrost prędkości obrotowej mimośrodu eliminuje gwałtowne uderzenia i wydłuża żywotność misy. Urządzenie jednocześnie odpowiednio dozuje wibracyjnie dodatki wiążące ziarna niezbędne do dalszego przygotowania próbki do pomiaru.

Kolejnym etapem jest prasowanie zmielonej próby. Jest to etap niezbędny do uzyskania płaskiej, litej powierzchni rozdrobnionej próbki w celu otrzymania właściwej intensywności promieniowania X. Próbka jest prasowana w standaryzowanych metalowych pierścieniach, gdzie jedna powierzchnia jest pomiarowa. Prasy posiadają wewnątrz dwa narzędzia prasujące, dzięki czemu mogą obsługiwać dwie próby z cyklami przygotowania nachodzącymi na siebie, choć nie równocześnie dwie naraz z powodu potrzeby czyszczenia i zastosowania jednego układu hydraulicznego dla siłownika prasującego. Parametry prasowania są w pełni sterowalne, łącznie z rampą wzrostu ciśnienia, czasu docisku, czasu wzrostu ciśnienia itd., co ma wpływ na jakość prasowanej powierzchni próby z siłą do 15 ton. Maszyna posiada także układ czyszczenia pierścieni z próbą po wykonaniu pomiaru. Odbywa się to również w pełni automatycznie dzięki zastosowaniu kolejnych maszyn – magazynków podręcznych.

W kręgu małych robotów służących do właściwego przygotowania prób znajdują się dwa magazynki. Jeden magazyn służy do odbierania plastikowych kubków archiwalnych i zapewnianiu pustych dla ciągłości procesu, drugi zaś – odbierania gotowych pierścieni z próbą do pomiaru i zaopatrzenia w kolejne pierścienie dla pras. Działanie magazynków oparte jest na serwosilnikach o dużej precyzji, z modułem sterującym Sinamics. Pierścienie lub kubki plastikowe odkładane są na wyznaczone miejsca w osi XY, układu współrzędnych wyznaczonego przez moduły liniowe magazynków sprzęgnięte z serwami. Magazyn pierścieni posiada wbudowaną drukarkę bezdotykową Leibinger InkJet3, która znakuje każdą próbę numerem laboratoryjnym. Numer jest przesyłany dynamicznie z systemu PrepMaster w momencie odkładania próbki do magazynku, po czym próbka,

przejeżdżając pod dyszą, ma natryskiwany numer identyfikacyjny. Tak przygotowane próbki trafiają z magazynku podręcznego do urządzeń pomiarowych.

5. System Prepmaster

Jak już wspomniano, system SCADA steruje maszynami. Współpracuje on ze sterownikami PLC, wysyłając konkretne polecenia pod dany adres sterownika. Cyklem roboczym wszystkich wymienionych maszyn, za wyjątkiem robotów, sterują sterowniki PLC. Ich program podzielony jest na bloki wykonawcze, których zakończenie jest sygnalizowane do systemu PrepMaster, który następnie decyduje, jaki kolejny krok wykonać na podstawie danych z całej automatycznej linii. Podobnie wygląda współpraca z robotami obsługującymi linię, gdzie funkcję sterownika PLC pełni kontroler robotów IRC5. Dzięki takiemu rozwiązaniu niektóre maszyny mogą obsługiwać większą liczbę prób jednocześnie, a system może podejmować decyzję, dynamicznie analizując wszystkie zmienne i optymalizując proces. Konsekwencją takiej architektury jest ciągły monitoring pozycji poszczególnych próbek, wizualizowany oraz śledzony w tle. W przypadku np. braku zgodności sygnału z czujnika indukcyjnego obecności próbki z pozycją w systemie komputerowym, którą próbka powinna osiągnąć, następuje zatrzymanie pracy danej maszyny.

6. Podsumowanie

Automatyzacja procesu przygotowania pozwoliła na dokładniejszą kontrolę parametrów technologicznych, sterowanych za pomocą komputera i podwyższenie jakości wykonywanych analiz. W porównaniu do roku 2009 przed uruchomieniem linii zwiększono liczbę wykonywanych analiz o ok. 30% przy jednoczesnej redukcji zatrudnienia o ok. 10%. Poza czynnikami finansowymi, usprawniono komunikację z klientami, stosując połączone systemy. Wszystkie te korzyści bilansują podwyższone wydatki na części zamienne, media typu sprężone powietrze i elektryczność oraz dodatkowe koszty materiałów eksploatacyjnych, jak etykiety, rozpuszczalniki do drukarek, taśmy termotransferowe.