

Krzysztof OPRZĘDKIEWICZ

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KATEDRA AUTOMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ
Al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

System wspomagania optymalizacji produkcji na wielkoseryjnej linii produkcyjnej

Dr hab. inż. Krzysztof OPRZĘDKIEWICZ

Obecnie zatrudniony na AGH w Krakowie, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki AGH, Katedra Automatyki na stanowisku adiunkta oraz w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Tarnowie, Instytut Politechniczny na stanowisku profesora nadzwyczajnego. Zainteresowania naukowe: problemy sterowania systemami dynamicznymi o niepewnych parametrach, sterowanie cyfrowe, automatyka przemysłowa.



e-mail: kop@uci.agh.edu.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono system wspomagania optymalizacji produkcji na wielkoseryjnej linii produkcyjnej, zrealizowany z wykorzystaniem typowego środowiska SCADA WONDERWARE INTOUCH. Przedstawiony system umożliwia zbieranie i obróbkę statystyczną danych opisujących pracę linii i poszczególnych maszyn i może być alternatywą dla środowisk programistycznych dedykowanych specjalnie dla tych celów. System dodatkowo może być w łatwy sposób rozbudowany o funkcje sterowania nadrzędnego, co jest jego zaletą. Dodatkową zaletą przedstawionego rozwiązania Opisany system został wdrożony praktycznie w jednym z zakładów produkcji opakowań blaszanych w Polsce.

Słowa kluczowe: systemy SCADA, optymalizacja produkcji, wielkoseryjna linia produkcyjna.

Support system to production optimization in large lot production line

Abstract

In the paper a proposition of large-lot production line optimization support system is presented. The system we deal with was prepared for drink cane production line in factory in Poland. Fundamental assumptions to the presented project were following: firstly, a typical SCADA programming software was expected to apply (to the system realization INTOUCH was used). Next, the system is not expected to neither control nor generate critical alarms for the supervised system. It is required to collect data describing the work of the line only. The first section presents the production line we deal with. The general scheme of line is shown in Figure 1, the cane during consecutive production steps is shown in the Figure 3. The system is controlled with the use of ALLEN BRADLEY PLCs and PACs, the scheme of control system is shown in the Figure 2. Next section describes remarks about the system realization. The architecture of the system is typical, it consists of two parts: scripts and graphical user interface. The data from production system are read via PAC supervising the whole system, next they are prepared to give information about work of the whole line or the selected machine, for example: time since last breakdown (TSLB), current breakdown time (CBT), number of breakdowns, etc. The data preparing is done with the use of scripts. An exemplary algorithm of TSLB assign is shown in Figure 4. The user's interface offers a broad information about all parameters describing the work of line. The main application window is shown in Figure 5, the exemplary window to monitor the cup press is shown in Figure 6. Main conclusion from the paper is, that the optimization production support system can be built with the use of typical SCADA software. The presented solutions have an additional advantage, that they can be applied in typical SCADA systems, dedicated both to control and supervise production system.

Keywords: SCADA systems, production optimization, large-lot production line.

1. Uwagi wstępne

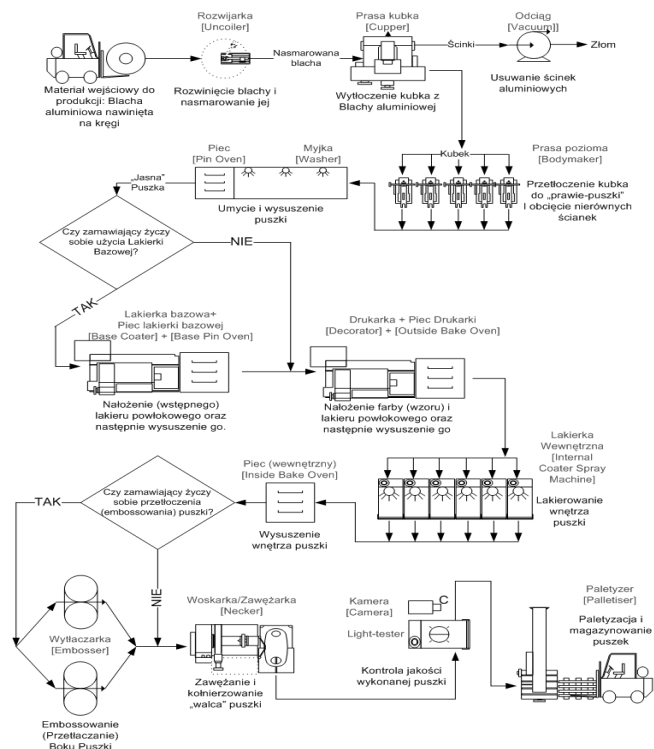
W pracy przedstawiono propozycję realizacji systemu wspomaganie optymalizacji produkcji na wielkoseryjnej linii produkcyjnej,

zrealizowany z wykorzystaniem typowego środowiska SCADA WONDERWARE INTOUCH. Przedstawione w pracy rozwiązanie może być alternatywą dla środowisk programistycznych dedykowanych bezpośrednio do tego celu, np. ANT Production Portal, STATISTICA. Dodatkowym atutem prezentowanego systemu jest to, że może on być w razie potrzeby w łatwy i naturalny sposób rozszerzony o funkcjonalności związane ze sterowaniem i alarmowaniem w czasie rzeczywistym lub inne funkcje charakterystyczne dla typowych systemów SCADA. Przedstawiony w pracy system został zrealizowany pod kierownictwem autora w roku 2010 [1]. W pracy są omówione następujące zagadnienia:

- Specyfika rozważanego procesu produkcyjnego,
- Założenia do budowy aplikacji,
- Uwagi o realizacji aplikacji,
- Uwagi końcowe.

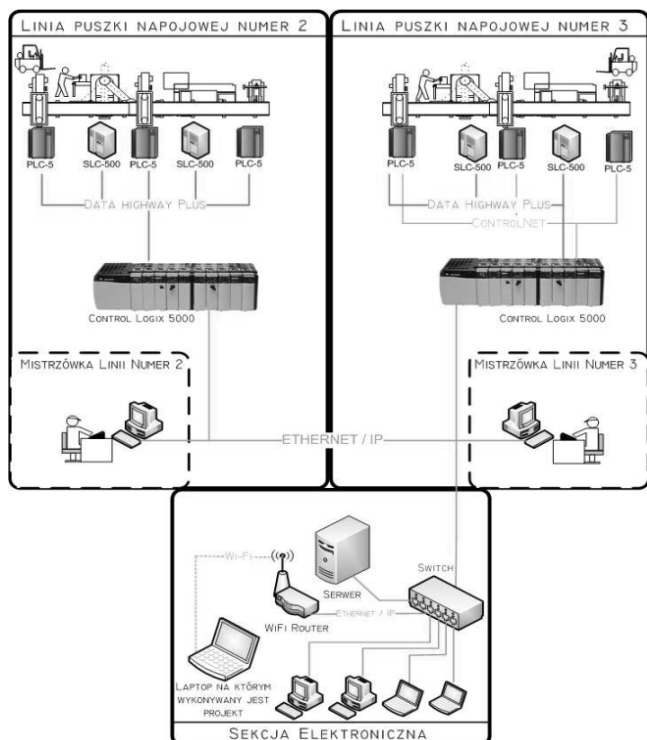
2. Specyfika rozważanego procesu produkcyjnego

Uproszczony schemat rozważanej w pracy linii produkcyjnej pokazany jest na rysunku 1, puszka bazowa w różnych etapach produkcji pokazana jest na rysunku 3.



Rys. 1. Uproszczony schemat rozważanego procesu produkcyjnego
Fig. 1. The simplified scheme of the considered production process

Proces produkcyjny puszek obejmuje ciąg operacji mechanicznych (wycinanie krążków z blachy, wieloetapowe wytłaczanie oraz pakowanie gotowych puszek) oraz chemicznych (przygotowanie do lakierowania i lakierowanie). Sterowanie na poziomie bezpośrednim jest realizowane przez sterowniki PLC i PAC firmy ALLEN BRADLEY, praca poszczególnych maszyn nadzorowana jest przez obsługę. Rozruch i zatrzymanie linii są wykonywane ręcznie przez obsługę i automatyzacja tych procesów nie ma sensu.



Rys. 2. System sterowania linią produkcyjną
Fig. 2. The control system for production line



Rys. 3. Puszka „bazowa” podczas kolejnych etapów produkcji
Fig. 3. The „base” can during consecutive production steps

Z punktu widzenia monitorowania wydajności pracy i jakości produkcji rozważanej linii mamy do czynienia z następującymi, charakterystycznymi dla niej cechami:

- Podczas pracy linii występuje stosunkowo duża liczba niegroźnych dla obsługi i łatwych do usunięcia zacięć maszyn i podobnych drobnych awarii, które są usuwane ręcznie przez obsługę, ale ich występowanie ma wpływ na jakość i szybkość produkcji i ilość poprawnie wykonanych elementów.
- Każda awaria powoduje przestój maszyny, którego czas zależy od typu awarii i kompetencji obsługi podczas jej usuwania.
- Wadliwie wykonany element jest złomowany (nie ma możliwości „poprawienia” go),
- Automatyzacja procesu usuwania zacięć i awarii nie ma uzasadnienia technicznego ani ekonomicznego.
- Kontrola jakości jest wykonywana dla gotowego produktu na końcu procesu, przy czym niepoprawnie wykonana puszka jest złomowana.
- Maszyny na linii są sterowane i nadzorowane przez sterowniki PLC i PAC, linia posiada także dobrze rozbudowaną infrastrukturę sieci przemysłowej (standardy: Data Highway+, ControlNet, EthernetIp), co znacznie ułatwia połączenie ze stopniem nadrzędnym.

- Wszystkie dane z całej linii są zbierane przez jeden sterownik PAC ALLEN BRADLEY serii Contollogix, który nadzoruje sterowniki pracujące na szczeblu sterowania bezpośredniego. Uproszczony schemat układu sterowania pokazany jest na rys. 2.

3. Założenia do budowy aplikacji SCADA

Pierwszym podstawowym założeniem podczas budowy rozważanej aplikacji jest, że z poziomu aplikacji nie są realizowane żadne działania sterujące. Wynika to z faktu, że sterowania bezpośrednie poszczególnymi maszynami są realizowane przez sterowniki PLC, a rozruch i zatrzymywanie linii oraz usuwanie zacięć i awarii maszyn dokonywane są ręcznie przez obsługę i automatyzacja tych działań nie ma sensu.

System SCADA powinien umożliwić zbieranie, archiwizację i obróbkę statystyczną danych pozwalających na nadzór i monitorowanie pracy zarówno całej linii, jak i poszczególnych maszyn. W szczególności powinien on umożliwić:

- Uzyskiwanie informacji o pracy linii (np. stany pracy poszczególnych maszyn) w czasie rzeczywistym,
- Wyznaczanie przedziałów czasowych pomiędzy awariami, zarówno dla konkretnych maszyn, jak i całej linii,
- Wyznaczanie czasów przestoju poszczególnych maszyn związanych z usuwaniem awarii,
- Określenie ilości i rodzajów awarii maszyn podczas jednej zmiany,
- Wyznaczanie średnich czasów bezawaryjnej pracy poszczególnych maszyn,
- Uzyskanie informacji o ilości wytworzonych półproduktów i gotowych puszek,
- Wyszukiwanie i podanie informacji o awariach najczęściej występujących na danej maszynie lub całej linii.

Stacje robocze dla aplikacji powinny być zlokalizowane w pomieszczeniu nadzoru linii (tzw. „mistrzówce”), natomiast zbierane i opracowywane w aplikacji dane powinny być dostępne dla zarządu firmy.

Tab. 1. Zmienne odczytane z systemu sterowania
Tab. 1. Tags read from control system

Interpretacja zmiennej	Uwagi
Tryb pracy maszyny	Manual = 0 Auto = 1
Aktualny tryb pracy	Praca=1 Gotowość=2 Awaria=3 Maszyna nie używana=4
Kod awarii maszyny	Trzycyfrowy kod awarii maszyny
<i>Rollover</i>	Wartość zadana liczników elementów w maszynach
Prędkość maszyny w m/min	Prędkość pracy myjki i pieca do suszenia
Prędkość maszyny w ilości puszek/minutę	Prędkość pracy pozostałych maszyn
<i>Infeed</i>	Ilość puszek, która dotarła do maszyny do obróbki. Wartość od 0 do <i>Rollover</i>
<i>Discharge</i>	Ilość puszek, która opuściła maszynę po obróbce. Wartość z zakresu od 0 do <i>Rollover</i> .
Stan zapalenia taśmy transportującej przed prasami poziomymi	Przebieg czasowy sygnałów binarnych z czujników obecności puszek na taśmie dostarczającej elementy do prasy poziomej
Stan zapalenia taśmy transportującej przed drukarką	Przebieg czasowy sygnałów binarnych z czujników obecności puszek na taśmie dostarczającej elementy do drukarki.
<i>Uncoiler running</i>	Stan pracy rozwijarki blachy na początku linii: Działa=1 Nie działa=0
<i>Lubricator running</i>	Stan pracy smarownicy blachy: Działa=1 Nie działa=0

Kolejnym istotnym założeniem była selekcja danych przewidzianych do dalszej obróbki w obrębie aplikacji. Bezpośrednie sieciowe połączenie warstwy sterowania bezpośredniego z warstwą aplikacji umożliwia łatwe zbieranie dużej ilości danych w czasie rzeczywistym, natomiast nie wszystkie z nich będą później potrzebne. Z tego względu już na etapie projektu określono dane istotne z punktu widzenia działania aplikacji.

Dla potrzeb budowanej aplikacji nie zachodzi potrzeba zbierania danych bezpośrednio związanych ze sterowaniem maszynami, należy natomiast zebrać dane informujące o stanie pracy maszyn, itp. Dane te są opisane przez określone zmienne w pamięci sterowników, ich zestawienie podano w tabeli 1.

Wszystkie zmienne opisane w tabeli 1 są wyznaczone oddzielnie dla każdej z maszyn na linii i na podstawie przebiegów czasowych ich wartości można wyznaczyć np. czasy pracy i przestoju maszyny, czasy usuwania awarii, itp. Większość zmiennych jest odczytywana ze sterownika PAC nadzorującego linię, ostatnie cztery w tabeli 1 są odczytywane bezpośrednio ze sterowników sterujących pracą odpowiednich maszyn.

4. Uwagi o realizacji aplikacji

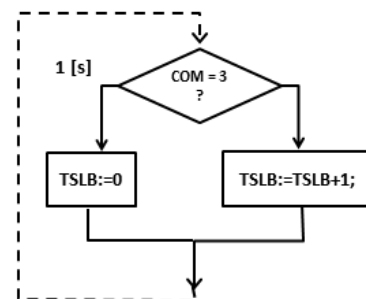
Architektura aplikacji jest typowa, zawiera ona dwie zasadnicze części: graficzny interfejs użytkownika oraz skrypty. Charakterystyczną cechą prezentowanego systemu jest dość znacznie rozbudowana część skryptowa, realizująca algorytmy obróbki danych, pobieranych bezpośrednio z systemu i wyznaczająca parametry procesu istotne z punktu widzenia sterowania nadrzędnego i optymalizacji.

Tab. 2. Parametry procesu dostępne poprzez interfejs użytkownika
Tab. 2. Process parameters available via user interface

Nazwa parametru	Interpretacja	
Current_shift_number	Numer aktualnej zmiany produkcyjnej	Wyznaczany w aplikacji
	Aktualny status wybranej maszyny	Odczytywany bezpośrednio z systemu sterowania
TSLB (Time since last breakdown)	Czas od ostatniej awarii dla wybranej maszyny	Wyznaczany w aplikacji
CBT (Current breakdown time)	Czas trwania bieżącej awarii	Wyznaczany w aplikacji
Break_count	Ilość awarii danej maszyny podczas jednej zmiany	Wyznaczany w aplikacji
COM (Current Operating Mode)	Aktualny tryb pracy maszyny. Ten sam parametr, co w tabeli 1	Odczytywany bezpośrednio z systemu sterowania
Aktualna prędkość maszyny	Parametr bezpośrednio odczytywany ze sterownika	Odczytywany bezpośrednio z systemu sterowania
Cup_avail_last	Współczynnik dostępności maszyny liczony co 1 s jako suma procentowego udziału stanów maszyny: „pracuje” i „gotowość”.	Wyznaczany w aplikacji
MTBF (Mean Time Between Failure)	Średni czas bezawaryjnej pracy maszyny	Wyznaczany w aplikacji
MTTR (Mean Time To Repair)	Średni czas potrzebny do naprawy maszyny	Wyznaczany w aplikacji
Infeed	Ilość elementów przysyłanych na maszynę do obróbki	Odczytywany bezpośrednio z systemu sterowania
Discharge	Ilość elementów obrobionych przez maszynę	Odczytywany bezpośrednio z systemu sterowania
How_Many_{state}	Łączna ilość maszyn znajdująca się w danym stanie (jednym z czterech, zdefiniowanych w tabeli 1)	Wyznaczany w aplikacji

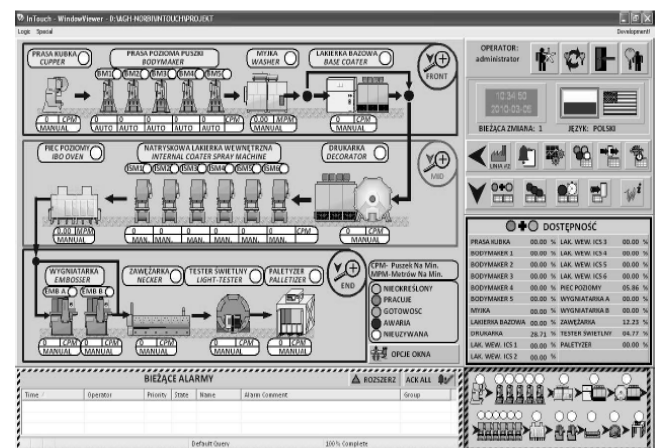
Interfejs użytkownika udostępnia dane istotne z punktu widzenia zarządzania produkcją. Część z nich jest bezpośrednio odczytywana ze sterowników PAC i PLC sterujących i nadzorujących urządzenia na linii, a część z nich musi być wyznaczona i uaktualniana w czasie rzeczywistym podczas pracy systemu z wykorzystaniem funkcji skryptowych. Zestawienie danych dostępnych dla użytkownika i zapisywanych w bazie danych podane jest w tabeli 2.

Jako przykład zostanie omówione wyznaczenie czasu, który upłynął od ostatniej awarii. Schemat blokowy algorytmu wyznaczania tego czasu pokazany jest na rysunku 4. Algorytm jest realizowany z wykorzystaniem dwóch skryptów: zmiany wartości zmiennej oraz aplikacyjnego, wykonywanego podczas pracy runtime'u co 1 sekundę. Skrypt zmiany wartości zmiennej jest aktywowany w przypadku, gdy zmienna **COM** przyjmie wartość 3, oznaczającą awarię. Wtedy wartość zmiennej **TSLB** jest zerowana, gdyż awaria właśnie się rozpoczęła. W momencie, jeśli wartość zmiennej **COM** zostanie ustawiona na jakąkolwiek inną wartość, niż 3, skrypt nie jest wykonywany i wartość **TSLB** nie jest zerowana. Jednocześnie przez cały czas działania runtime'u cyklicznie, co 1 s jest wykonywany skrypt aplikacyjny, w którym (między innymi) wykonywana jest aktualizacja **TSLB: TSLB:=TSLB+1**; W rezultacie, w każdej chwili, w której wartość **COM** jest różna od 3, wartość **TSLB** opisuje czas w ilości sekund od ostatniej awarii wybranej maszyny.

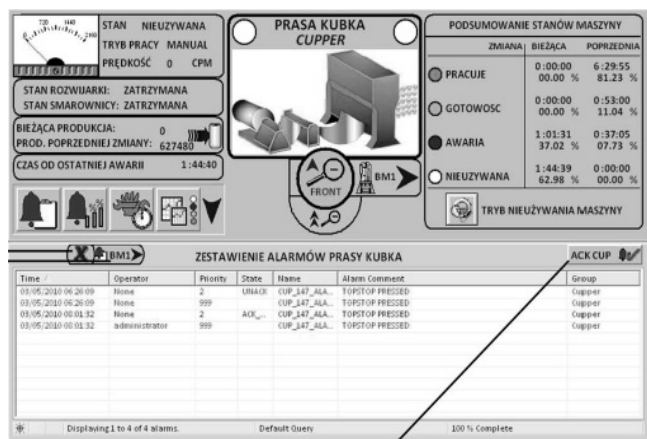


Rys. 4. Algorytm wyznaczania czasu, który upłynął od ostatniej awarii
Fig. 4. Algorithm of assign time since last breakdown

W podobny sposób są wyznaczone inne parametry opisane w tabeli 2. Każdy z tych parametrów może być wyznaczany dla wybranej maszyny, przy czym nazwa parametru skojarzonego z konkretną maszyną jest tworzona jako połączenie nazwy parametru z nazwą maszyny, przykładowo – **CUP_TSLB** oznacza parametr **TSLB** wyznaczany dla prasy kubków (pierwszy etap tłoczenia).



Rys. 5. Główne okno aplikacji
Fig. 5. Main window of the application



Rys. 6. Okno do prezentacji pracy prasy kubka
Fig. 6. Window to presentation of the work of the cup press

Dodatkowo, oprócz parametrów opisanych w tabeli 2 dla każdej z maszyn zdefiniowano zestaw alarmów, skonfigurowanych z wykorzystaniem typowych alarmów możliwych do zdefiniowania w środowisku INTOUCH. Wszystkie te alarmy są analizowane i prezentowane w postaci wykresu Pareto.

Interfejs graficzny systemu pozwala na dostęp do wszystkich omówionych powyżej parametrów. Główne okno programu pokazane jest na rysunku 5, przykładowe okno do nadzoru pracy prasy kubka pokazane jest na rysunku 6.

5. Uwagi końcowe

Uwagi końcowe do pracy mogą być sformułowane następująco:

- System wspomagający optymalizację produkcji na linii wielkoseryjnej może być zrealizowany z użyciem typowego oprogramowania SCADA.
- Dodatkową zaletą proponowanych rozwiązań jest to, że mogą one także być bez problemu zastosowane w typowych systemach SCADA dedykowanych do monitorowania produkcji i realizacji sterowań nadrzędnych.

6. Literatura

- [1] Bailey D., Wright E.: Practical SCADA for industry. Oxford, 2003.
- [2] Bergson B.T., Reiling M.: Wytwarzanie dwuczęściowej puszkii napojowej. PAC International inc.
- [3] Śledź N.: Problemy projektowania, realizacji i wdrożenia systemu SCADA dla wielkoseryjnej linii produkcyjnej. Praca dyplomowa magisterska zrealizowana pod kierownictwem K. Oprzędkiewicza na Wydziale EAIe AGH w roku 2010.
- [4] Wonderware InTouch - Podręcznik Użytkownika.

otrzymano / received: 02.07.2012

przyjęto do druku / accepted: 01.11.2013

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Informacje dla Autorów

Redakcja przyjmuje do publikacji tylko prace oryginalne, nie publikowane wcześniej w innych czasopiśmie. Redakcja nie zwraca materiałów nie zamówionych oraz zastrzega sobie prawo redagowania i skracania tekstów oraz streszczeń.

Artykuły naukowe publikowane w czasopiśmie PAK są formatowane jednolicie zgodnie z ustaloną formatką zamieszczoną na stronie redakcyjnej www.pak.info.pl. Dlatego artykuły przekazywane redakcji należy przygotowywać w edytorze Microsoft Word 2003 (w formacie DOC) z zachowaniem:

- wielkości czcionek,
- odstępów między wierszami tekstu,
- odstępów przed i po rysunkach, wzorach i tabelach,
- oznaczeń we wzorach, tabelach i na rysunkach zgodnych z oznaczeniami w tekście,
- układu poszczególnych elementów na stronie.

Osobno należy przygotować w pliku w formacie DOC notki biograficzne autorów o objętości nie przekraczającej 450 znaków, zawierające podstawowe dane charakteryzujące działalność naukową, tytuły naukowe i zawodowe, miejsce pracy i zajmowane stanowiska, informacje o uprawianej dziedzinie, adres e-mail oraz aktualne zdjęcie autora o rozmiarze 3,8 x 2,7 cm zapisane w skali odcieni szarości lub dołączone w osobnym pliku (w formacie TIF).

Wszystkie materiały:

- artykuł (w formacie DOC),
- notki biograficzne autorów (w formacie DOC),
- zdjęcia i rysunki (w formacie TIF lub CDR),

prosimy przesyłać w formie plików oraz dodatkowo jako wydruki na białym papierze (lub w formacie PDF) na adres e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl lub pocztą zwykłą, na adres: Redakcja Czasopisma Pomiary Automatyka Kontrola, Asystent Redaktora Naczelnego mgr Agnieszka Skórkowska, ul. Akademicka 10, p.21A, 44-100 Gliwice.

Wszystkie artykuły naukowe są dopuszczane do publikacji w czasopiśmie PAK po otrzymaniu pozytywnej recenzji. Autorzy materiałów nadesłanych do publikacji są odpowiedzialni za przestrzeganie prawa autorskiego. Zarówno treść pracy, jak i wykorzystane w niej ilustracje oraz tabele powinny stanowić dorobek własny Autora lub muszą być opisane zgodnie z zasadami cytowania, z powołaniem się na źródło cytatu.

Przedrukowywanie materiałów lub ich fragmentów wymaga pisemnej zgody redakcji. Redakcja ma prawo do korzystania z utworu, rozporządzania nim i udostępniania dowolną techniką, w tym też elektroniczną oraz ma prawo do rozpowszechniania go dowolnymi kanałami dystrybucyjnymi.