

## Systemy sterowania ścianowym przenośnikiem zgrzeblowym

### Streszczenie

Ważnym czynnikiem decydującym o poprawnej i bezawaryjnej pracy przenośnika ścianowego jest właściwa siła naciągu łańcucha. Podczas pracy jest ona zmienna wzdłuż całego konturu łańcuchowego, co jest wynikiem przekazywania na łańcuch siły pociągowej przez dwa oddalone od siebie napędy, własności sprężystych łańcucha oraz nierównomiernie rozłożonego i ciągle zmieniającego się obciążenia. Rodzi to problemy związane z efektywnym wykorzystaniem mocy, zwłaszcza we względnie długich przenośnikach osiagających ponad 300 m. W artykule przedstawiono propozycję innowacyjnego systemu sterowania ścianowym przenośnikiem zgrzeblowym z funkcją automatycznego sterowania naciągiem łańcucha oraz wyrównywaniem obciążeń napędów.

**Słowa kluczowe:** przenośnik zgrzeblowy, model, algorytm, system sterowania

**Keywords:** armoured face conveyor, model, algorithm, control system

---

### Summary

Proper chain tension is an important factor deciding about failure-free operation of AFC. During operation, chain tension differs along the chain in the result of transmission of pulling force from two distant drives, changing elasticity and uneven distribution and changing load. That gives a problem related to the effective use of power, especially in the case of long conveyors up to 300 meters. Suggestion of innovative control system for AFC with automatic control of chain tension and drive load balance.

## 1. Wprowadzenie

Przenośniki zgrzeblowe pracujące w kompleksach ścianowych wyposażane są w dwa lub trzy silniki elektryczne. Niewłaściwy naciąg łańcucha i nierównomierny rozkład obciążenia na przenośniku powoduje zróżnicowanie obciążenia silników w wyniku czego może dochodzić do okresowego przeciążania napędów, co z czasem prowadzi do awarii napędu i przestoju całego kompleksu ścianowego.

W ramach projektu ICON pt.: „Ścianowy przenośnik zgrzeblowy z innowacyjnym systemem regulacji parametrów pracy napędów”, realizowanego w ramach programu „INNOTECH” w ścieżce programowej IN-TECH, dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, konsorcjum w składzie:

- Instytut Techniki Górniczej KOMAG,
- Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii,
- KOPEX Machinery S.A.,
- Elgór + Hansen S.A

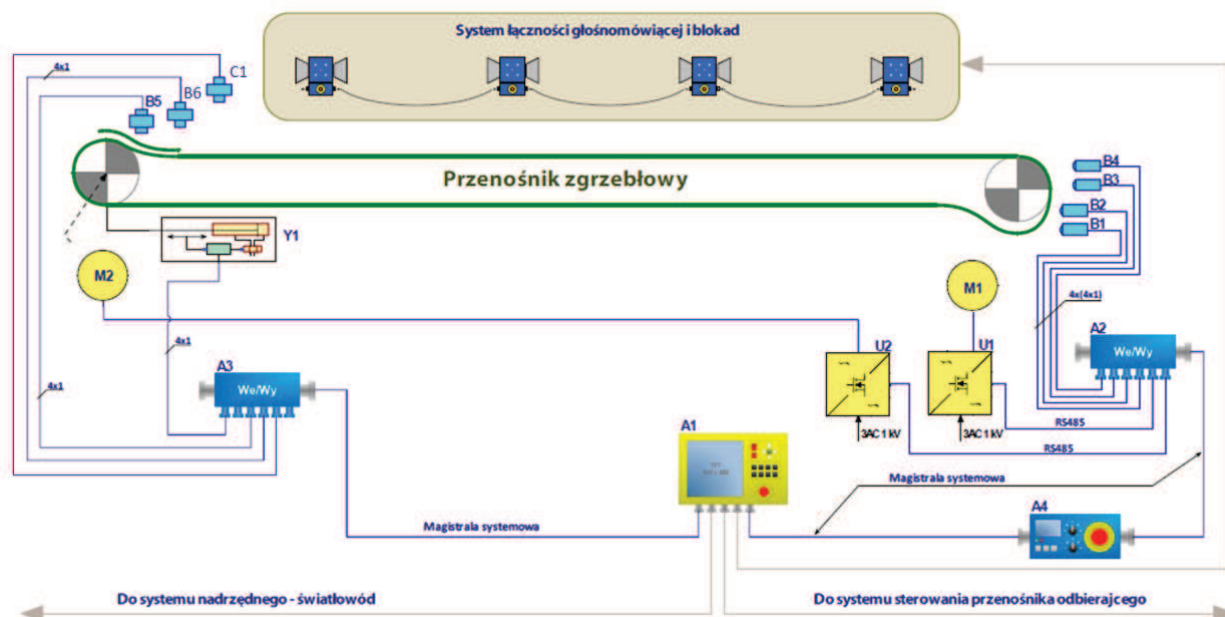
opracowało innowacyjny system sterowania ścianowego przenośnika zgrzeblowego z automatycznym systemem sterowania wyrównywaniem obciążeń napędów i naciągiem łańcucha.

## 2. System sterowania ścianowym przenośnikiem zgrzeblowym

Obiektem sterowania był ścianowy przenośnik zgrzeblowy odstawiający urobek ze ściany wydobywczej. Przenośnik wyposażony był w dwa napędy: wsypowy i zwrotny. Posiadał również sterowany hydraulicznie napęd teleskopowy, służący do napinania łańcucha przenośnika. Opracowany algorytm sterujący ma za zadanie wyeliminowanie zjawiska zmienności wykorzystania mocy napędów oraz utrzymanie odpowiedniego stanu naciągu łańcucha. Zjawiska te są wynikiem nierównomiernego obciążenia przenośnika urobkiem, własności sprężystych łańcucha, niedokładności związanych z wykonaniem łańcucha, jak również różnych charakterystyk silników elektrycznych.

Założenia do automatycznego sterowania pracą przenośnika zgrzeblowego zostały zdefiniowane następująco [3]:

- wprowadzenie możliwości akwizycji danych o stanie obiektu,
- przetwarzanie danych w celu podejmowania decyzji dotyczących sterowania procesem,
- zadawanie korekt regulacyjnych,
- odpowiednie sterowanie obiektem w momencie pojawienia się stanów krytycznych i alarmowych.



Rys.1. Struktura układu sterowania ścianowym przenośnikiem zgrzeblowym [2]

Przenośnik, stanowiący obiekt sterowania, wyposażono w czujniki, przekazujące informacje do sterownika głównego. Strukturę układu sterowania przenośnika pokazano na rysunku 1.

Zgodnie z założeniami przenośnik wyposażono w:

- przemienniki częstotliwości U1 i U2 do sterowania prędkościami napędów, pozwalających jednocześnie na rejestrację prądów generowanych w obwodach zasilania napędów: wysypowego i zwrotnego,
- czujnik siły nacisku C1, mierzonej w miejscu zbiegania łańcucha z bębna na napędzie zwrotnym,
- dwa czujniki dwustanowe B5 i B6 sygnalizujące stan nadmiernego luzowania łańcucha w miejscu zbiegania łańcucha z bębna napędu zwrotnego,
- cztery czujniki dwustanowe B1=B4, wykrywające stan nadmiernego napięcia lub z luzowania łańcucha na napędzie wysypowym.

Część sprzętową układu sterowania, łącznie ze sterownikiem głównym, do którego przekazywane są informacje z czujników, opracowała i wykonała firma Elgór+Hansen S.A. Zaproponowany układ posiada jeden sterownik główny A1 i dwa sterownikami lokalne A2, A3 dokonujące akwizycji danych z czujników i urządzeń współpracujących oraz z lokalnego pulpitu sterowania A4. Połączenia pomiędzy ww. urządzeniami wykonano z użyciem magistrali Fieldbus (magistrala systemowa) [2].

Algorytmy zarządzające pracą przenośnika opracowano w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG oraz na Wydziale Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej. Opracowane dwie wersje algorytmu poddano testom na modelach wirtualnych, a następnie na modelu rzeczywistym.

W wersji 1 algorytmu, opracowanej w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG, wyznaczono skończoną liczbę stanów pracy przenośnika. Poprzez kwalifikowanie aktualnego stanu pracy przenośnika do jednego z ww. stanów określano korektę regulacyjną przyporządkowaną temu stanowi. Korekta regulacyjna obejmowała zmianę nastaw częstotliwości zasilania napędu zwrotnego (napęd wysypowy był napędem wiodącym i jego prędkość w trakcie pracy ustalonej nie była regulowana) lub/i położenia teleskopowego napędu zwrotnego. Tylko trzy stany uznano za poprawne, czyli takie które nie wymagały korekty.

W wersji 2 algorytmu, opracowanej na Wydziale Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej, nie analizowano pracy przenośnika pod kątem przynależności do z góry określonych stanów pracy. Sterowanie pracą przenośnika odbywało się poprzez niezależną regulację naciągu łańcucha, w odniesieniu do wyrównywania obciążenia napędów.

Regulacja naciągu łańcucha odbywała się z wykorzystaniem analizy dwustanowych sygnałów położenia łańcucha, siły i obciążenia silników napędów przenośnika. Wyrównywanie mocy napędów przenośnika realizowane było niezależnie od stanu naciągu łańcucha. Regulacja prędkości realizowana była tylko w odniesieniu do napędu zwrotnego (nadażnie za napędem wysypowym). Korekta regulacyjna była zadawana, gdy przekroczono maksymalną dopuszczalną różnicę pomiędzy uśrednionymi wartościami mocy obu napędów.

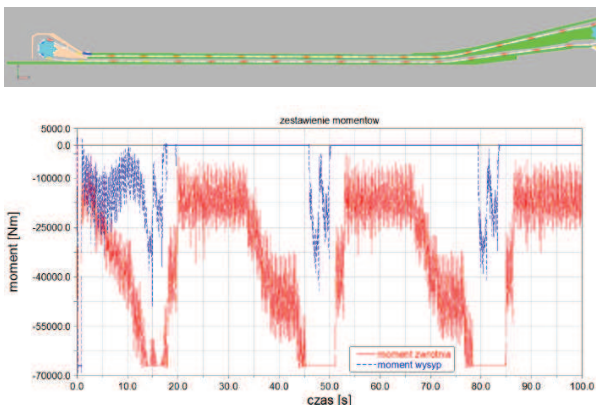
W ramach realizacji zadań opracowano szczegółowe procedury regulacyjne, jak również procedury obsługi urządzeń wykonawczych, w tym [3]:

- obsługi silników elektrycznych,
- obsługi napędu teleskopowego,
- kontroli mierników analogowych,
- wyrównywania mocy napędów i napinania/luzowania łańcucha.

Ze względu na sposób przeprowadzania pomiarów, charakteryzujący się impulsowym przebiegiem wskazań czujników, określono sposób ich kondycjonowania i interpretacji (zarówno w odniesieniu do czujników dwustanowych, jak również czujnika siły).

### 3. Badania układu sterowania

Opracowany w ramach projektu końcowy algorytm sterowania poddano weryfikacji zarówno na modelu wirtualnym, jak i na rzeczywistym modelu przenośnika. Wirtualny model obliczeniowy opracowano w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG. Został on zbudowany w środowisku MSC ADAMS. Model składa się ze 155 brył i 144 elementów sprężysto-tłumiących. Można w nim wyróżnić 903 modele kontaktów i szereg więzów obrotowych, przesuwnych i utwierdzających. Model posiada 436 stopni swobody. Algorytm układu sterowania zaimplementowano w oprogramowaniu MATLAB/SIMULINK. Widok modelu obliczeniowego w środowisku MSC ADAMS przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Model obliczeniowy przenośnika wykonany w środowisku MSC ADAMS i przykładowy wykres zarejestrowany podczas badań symulacyjnych [1]



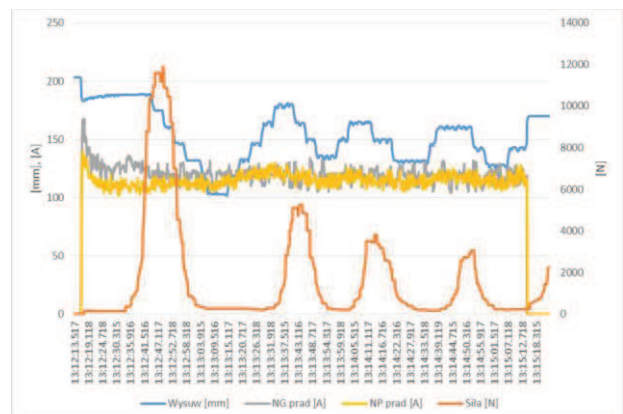
Rys.3. Przenośnik zgrzeblowy zainstalowany na terenie Fabryki Maszyn i Urządzeń TAGOR S.A [4]

Na podstawie przeprowadzonych analiz wyników numerycznych wprowadzono zmiany w algorytmie sterowania, których słuszność potwierdzona została podczas prób stanowiskowych [4].

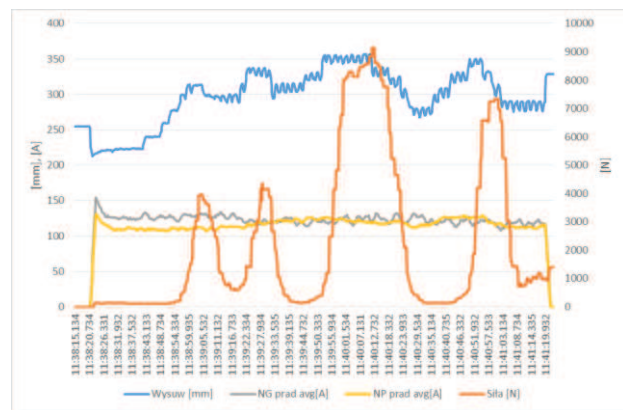
Badania stanowiskowe przeprowadzono na przenośniku zainstalowanym na terenie Fabryki Maszyn i Urządzeń TAGOR S.A. w Tarnowskich Górach (rys. 3).

Do napędu przenośnika zastosowano dwa silniki elektryczne o mocy 315 kW zasilane z przemienników częstotliwości. Na trasie zabudowano sanie kombajnowe z dwoma ciągnikami hydraulicznymi oraz hydrauliczną, teleskopową rynnę w celu luzowania/napinania łańcucha. Napęd zwrotny był napędem teleskopowym o skoku 600 mm. Pozwoliło to na napinanie lub luzowanie łańcucha podczas pracy przenośnika. W trakcie badań rejestrowano wskazania czujników dwustanowych, wskazania czujnika siły, wysuw siłownika napędu teleskopowego oraz natężenia prądów i częstotliwości napięcia zasilania napędów. Przykładowe przebiegi tych parametrów zarejestrowane podczas badań przedstawiono na rysunku 4.

a)



b)



Rys.4. Przebiegi czasowe wybranych parametrów pracy przenośnika podczas regulacji z wykorzystaniem a) wariantu 1, b) wariantu 2 [4]

Na rysunku 4a zaprezentowano przebiegi czasowe wybranych parametrów pracy przenośnika podczas regulacji z wykorzystaniem wariantu 1. W badanym przypadku zadano napięcie wstępne łańcuchów, które wywołało stan nieluzowania łańcucha na napędzie pomocniczym. Zróznicowano również początkową wartość częstotliwości napięcia zasilania napędów. Algorytm sterujący załączono po 20 s od chwili załączenia przenośnika. Pierwszy zarejestrowany stan przenośnika wskazywał na dużą siłę na napędzie zwrotnym i zróznicowanie poboru mocy przez silniki. Zadziałanie algorytmu zainicjowało proces powolnego zwiększania obrotów gwiazdy napędu pomocniczego, celem wyrównania obciążenia napędów. Po otrzymaniu pełnych uśrednionych wartości siły i stanów czujników magnetycznych (zgodnie z przyjętymi czasami uśredniania), algorytm zareagował zsuwaniem kadłuba napędu pomocniczego przenośnika. Zwiększanie obrotów gwiazdy napędu pomocniczego i zmniejszenie konturu przenośnika, spowodowało obniżenie siły w łańcuchu rejestrowanej przez czujnik na zejściu łańcucha z bębna napędu pomocniczego. Pełne wyrównanie prądów w obwodach zasilania napędów, nastąpiło w 50 s działania algorytmu i spowodowało pojawienie się luzu na napędzie pomocniczym. Algorytm zaczął realizować wysuw kadłuba napędu pomocniczego, dążąc do uzyskania pożądanego naciągu łańcucha. Przebiegi czasowe zarejestrowane podczas regulacji z wykorzystaniem algorytmu w wersji 2 przedstawiono na rysunku 4b. Podobnie, jak w poprzednim przypadku zróznicowano wartość początkową częstotliwości napięcia zasilania napędów. Algorytm sterujący załączono po czasie rozruchu, który wynosił 25 s. Pierwszy zarejestrowany stan przenośnika wskazywał na stan luzowania na napędzie pomocniczym. Zadziałanie algorytmu spowodowało wysuw kadłuba napędu pomocniczego, czego efektem był przyrost siły w łańcuchu. W dalszej części badania algorytm próbuje utrzymywać stałe obciążenie napędów i odpowiedni naciąg łańcucha, reagując na zmiany obciążenia przenośnika zadawane saniami kombajnowymi.

W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano potwierdzenie, że algorytmy sterowania pracą przenośnika funkcjonują zgodnie z założeniami i osiągnięte jest korzystne wyrównanie obciążeń napędów. Ich zaletą jest możliwość ingerencji w zakresie doboru okna czasowego, częstotliwości wywołań algorytmu i liczby uśrednianych próbek danych pomiarowych, co umożliwia uzyskanie optymalnych efektów sterowania przenośnikiem. Możliwe jest również wprowadzenie takich ustawień parametrów algorytmu, aby jego ingerencja w wyrównywaniu obciążeń następowała tylko po przekroczeniu przez jeden z napędów mocy nominalnej [4].

## 4. Podsumowanie

Problemy automatyzacji sterowania pracą ścianowych przenośników zgrzeblowych, wynikają z warunków pracy przenośnika ścianowego, które utrudniają skuteczne monitorowanie stanu naciągu łańcucha. W publikacji przedstawiono algorytm sterowania zwiększający funkcjonalność przenośnika zgrzeblowego, który jednocześnie bazuje na ograniczonym zbiorze danych możliwych do pozyskania z maszyny. Celem nadrzędnym omawianego systemu sterowania jest uzyskanie właściwego naciągu wstępnego łańcucha zapewnianiącego poprawną pracę przenośnika oraz aktywną regulację mocy pobieranej przez napędy, co umożliwi wyrównywanie ich obciążeń.

Układ sterowania opracowany w ramach projektu ICON zweryfikowano podczas badań na modelu wirtualnym i podczas badań stanowiskowych. Wyniki badań wykazały poprawne działanie układu sterowania. Obecnie system testowany jest w warunkach *In situ*. Po etapie testów opracowane zostaną i wprowadzone do systemu poprawki wynikające z rzeczywistej eksploatacji.

## Literatura

1. Drwięga A., Tokarczyk J., Szewerda K. i inni: „Opracowanie wirtualnego dyskretnego modelu przenośnika wraz z modelem jego sterowania, przeprowadzenie testowych symulacji numerycznych modelu” sprawozdanie z zadania nr 5 projektu ICON, ITG KOMAG, Gliwice 2012 r. (materiały nie publikowane).
2. Drwięga A., Mazurkiewicz A., Ofiarkiewicz D. i inni: „Opracowanie doboru platformy sprzętowej umożliwiającej aplikację algorytmów” sprawozdanie z zadania nr 6 projektu ICON, ITG KOMAG, Gliwice 2012 r. (materiały nie publikowane).
3. Drwięga A., Stankiewicz K., Jendrysik S. i inni: „Opracowanie zintegrowanego algorytmu sterowania pracą napędów przenośnika, testowanie algorytmu na modelu wirtualnym, opracowanie i wprowadzenie korekt algorytmu, opracowanie oprogramowania sterownika języku wyższego poziomu na podstawie algorytmu” sprawozdanie z zadania nr 8 projektu ICON, ITG KOMAG, Gliwice 2013 r. (materiały nie publikowane).
4. Drwięga A., Stankiewicz K., Jendrysik S. i inni: „Opracowanie wyników badań, odniesienie do badań prototypu i opracowanie sprawozdania” sprawozdanie z zadania nr 17 projektu ICON, ITG KOMAG, Gliwice 2013 r. (materiały nie publikowane).

*Artykuł wpłynął do redakcji w lutym 2015 r.*