# ZASTOSOWANIE NAPĘDÓW REGULOWANEJ PRĘDKOŚCI W ODKRYWKOWYCH ZAKŁADACH GÓRNICZYCH - ZAGADNIENIA WYBRANE

## THE USE OF DRIVES OF THE REGULATED SPEED IN OPENCAST MINING INSTITUTIONS - CHOSEN QUESTIONS

**Marek Trajdos - Partner Serwis Sp, z o.o. „Klub Paragraf 34" SBT, Łódź**
**Konrad Leśniewski - PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. Oddział KWB „Turów"**

*W artykule omówiono wybrane zagadnienia korzyści płynących z zastosowania napędów regulowanej prędkości w odkrywkowych zakładach górniczych. Omówiono przykładowe zastosowania regulacji prędkości w napędach przenośników taśmowych, poruszając zarówno zagadnienia poprawy jakości sterowania, jak i funkcjonalności, których uzyskanie bez regulacji prędkości nie jest możliwe.*

*Do podstawowych aspektów należą:*

- *regulacja prędkości wynikająca z aspektów technologicznych (w stanach dynamicznych i quasi statycznych),*
- *oszczędności energetyczne,*
- *ochrona środowiska,*
- *sterowanie bezpieczeństwem.*

*Rozważania poparto przykładami aplikacji zrealizowanych w KWB „Turów" , w szczególności na przenośnikach Z-3B oraz Z-4B.*

*The chosen questions of advantages flowing from the use of drives of the regulated speed in opencast mining plant talked over in the report. Propeling the example uses of the adjustment of the speed talked over in the drives of belt conveyor both the question of the improvement of the quality of control, how and the functionality, which obtainment without the control of the speed possible.*

*They belong to basic aspects:*

- *the adjustment the speed resulting from technological aspects (in dynamic states and static quasi),*
- *energetistic economies,*
- *the protection of the environment,*
- *the control the safety.*

*Considerations were supported the examples of applications realized in KWB „Turów" , in the peculiarity on conveyor Z-3B and Z-4B.*

***Słowa kluczowe:*** *przenośnik taśmowy, regulacja prędkości, funkcje bezpieczeństwa*
***Key words:*** *belt conveyor, speed control, safety functions*

### Technologiczne aspekty regulacji prędkości

W celu uzyskania dodatkowych możliwości technologicznych, dla napędów taśmy przenośników Z-3B i Z-4B przewidziano regulację prędkości obrotowej w zakresie od 60% do 100% wartości prędkości znamionowej. Osiągnięto powyższą możliwość dzięki zastosowaniu płynnej regulacji prędkości obrotowej silników klatkowych za pomocą wektorowego sterowania przekształtnikami częstotliwości. W tabeli 1 zostały zamieszczone podstawowe dane wykorzystanych przekształtników, natomiast na rysunku 1 pokazano ogólny schemat architektury układu zasilania silników każdego z opisanych przenośników taśmowych. Na przenośnikach Z3B oraz Z4B zainstalowano po jednym napędzie, o mocy znamionowej silnika 350A. Jak widać każdy z silników jest zasilany z oddzielnego falownika, natomiast falowniki są zasilane ze wspólnego prostownika.

W stacji przewidziano dwie rozdzielnie falownikowe (jedna dla Z-3B, druga dla Z-4B) firmy SIEMENS w wykonaniu szafowym. Sposób odprowadzenia ciepła z rozdzielnic falownikowych odbywał się za pomocą wentylatorów wewnątrz szaf falownikowych. Dodatkowo w stacji przewidziano klimatyzację wytwarzającą nadciśnienie uniemożliwiające przedostawanie się pyłu z zewnątrz kontenera i utrzymującą temperaturę w kontenerze na zadanym poziomie.

W szafie PLC (XA1) ustawionej w stacji elektrycznej został zabudowany sterownik główny SIMATIC S7-400. Do modułów wejść i wyjść wspomnianego sterownika głównego podłączone są wszystkie sygnały zlokalizowane wewnątrz stacji elektroenergetycznej. Pozostałe sygnały wprowadzone są do modułów wejść i wyjść wysp sterownikowych zabudowanych na projektowanych przenośnikach Z-3B i Z-4B.

Wszystkie zależności technologiczne realizowane są przez program sterownika. Na drzwiach szafy PLC zabudowany został dotykowy panel sterowniczy MP-377 produkcji SIEMENS służący do odczytywania i archiwizacji komunikatów sterownika oraz ewentualnych czynności obsługi serwisowej.

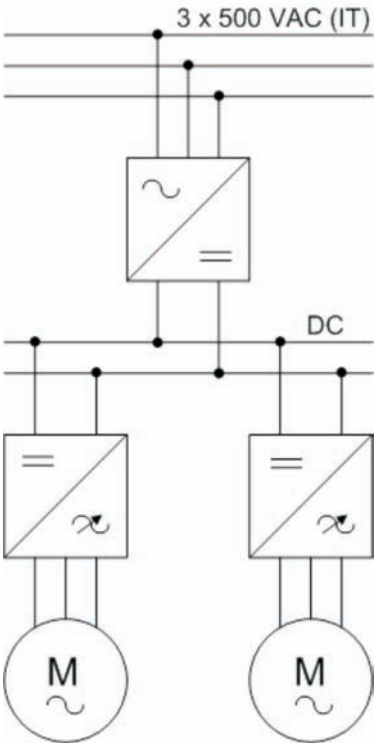
Obwody sterownika PLC (centralnego i rozproszonych wysp

Tab. 1. Dane prostownika oraz przekształtników zainstalowanych na przenośnikach
Tab. 1. The data of the rectifier and the inverters installed on the conveyors

| Przenośnik | Prostownik/zasilacz | Prąd zn.prostownika | Falownik | Prąd zn.falownika | Prąd silnika |
|---|---|---|---|---|---|
| Z3B | 6SL3352-1AG34-1CA1 | 680 A | 6SL3720-1TG34-1AA0 | 410 A | 350 A |
| Z4B | 6SL3352-1AG34-1CA1 | 680 A | 6SL3720-1TG34-1AA0 | 410 A | 350 A |

sygnałowych) zasilane są napięciem gwarantowanym 230V AC za pomocą bezprzerwowego układu zasilania (UPS).

Dzięki wprowadzeniu płynnej regulacji prędkości obrotowej silników napędowych opisanych przenośników, możliwe stało się regulowanie ich wydajności. Aby umożliwić regulację w układzie zamkniętym zainstalowano na przenośniku nadającym Z2B czujniki tensometryczne z funkcją pomiaru przepływającej masy (rys. 2) oraz wprowadzono algorytm regulacyjny do nadrzędnego systemu sterowania. Na rysunku 3 pokazano widok




Rys. 1. Ogólny schemat układu zasilania i sterowania przenośników taśmowych Z-3B i Z-4B
Fig. 1. General scheme of the configuration of the feeding supply and control conveyor belt Z-3B and Z-4B

reprezentatywnego ekranu wizualizującego opisującego system sterowania wydajnością dla przenośnika Z-3B.

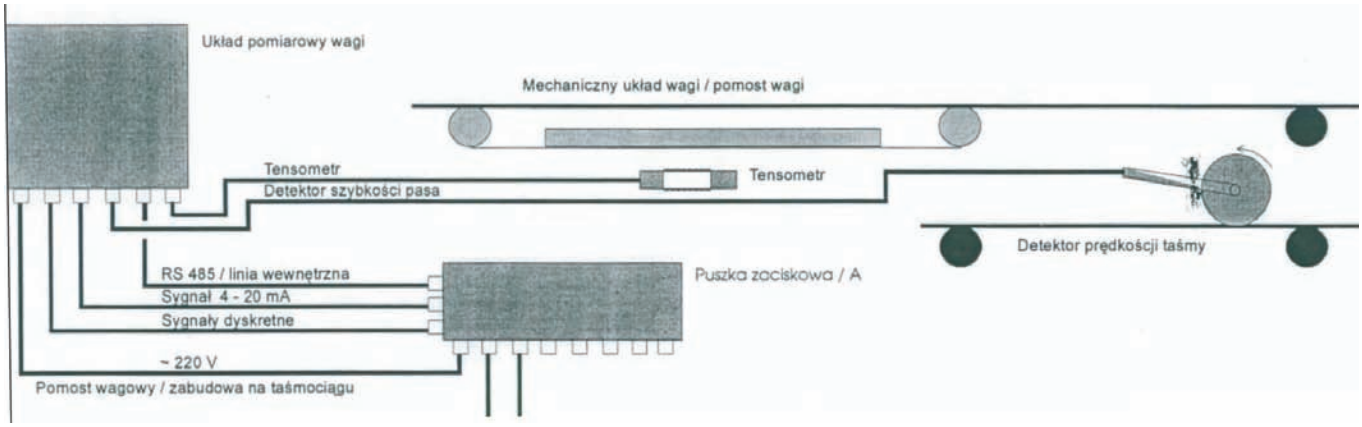
Na rysunku 3 oś Y (z prawej strony) przedstawia obroty silnika w procentach wartości znamionowej, w danej sytuacji wynoszą one 60,0%, natomiast oś Y (z lewej strony) przedstawia wydajność przenośnika, która aktualnie wynosi 486,1 t/h (po filtracji) i odpowiednio 726,1 t/h przed filtracją. Czas filtracji pomiaru wydajności ustalono podczas prób pod urobkiem na 5 sekund.

Przedstawiono aktualną charakterystykę układu regulacji, gdzie zmienna X oznacza wydajność chwilową przenośnika [t/h], natomiast zmienna Y przedstawia procentową wartość [%] prędkości znamionowej silnika napędowego.

Jak widać, za pomocą przycisku A/R możliwa jest również zmiana trybu pracy z automatycznego na ręczny, gdzie za pomocą przycisków +/- możliwa jest manualna regulacja prędkości z pominięciem algorytmu i zaimplementowanej charakterystyki.

Wykres w kolorze niebieskim prezentuje ilość przepływającej masy przez przenośnik Z2B. Aktualna wydajność z wagi pomiarowej jest przesyłana za pomocą protokołu Modbus do sterownika centralnego, który po okresie 5 s zmniejsza prędkość obrotową przenośnika Z3B zgodnie z zaimplementowaną charakterystyką. Gdy wydajność chwilowa nie przekracza 600 t/h prędkość przenośnika wynosi 60% jego prędkości znamionowej. Dla 1000 t/h prędkość wzrasta do 80%, w przypadku przepływu 1500 t/h prędkość wynosi już 90%, a od wydajności 1800 t/h utrzymuje się prędkość maksymalna. Z uwagi na to, iż przenośnik Z3B jest lekko opadający w dół i jego prędkość nieznacznie wzrasta, w stosunku do niego zwiększono na stałe o 10 jednostek prędkość przenośnika Z4B. Wykres w kolorze żółtym przedstawia przebieg prędkości obrotowej przenośnika Z3B w czasie.

Dodatkową korzyścią wynikającą z regulacji prędkości obrotowej silników, a więc prędkości liniowej przenośników jest obniżenie poziomu hałasu emitowanego do środowiska. Wynika to z faktu iż obniżenie prędkości powoduje obniżenie




Rys. 2. Schemat ideowy układu wagi zainstalowanej na przenośniku Z2B do regulacji prędkości obrotowej przenośników Z-3B i Z4B
Fig. 2. Ideal scheme of the configuration of weigher installed on conveyor Z-2B to the control of the rotational speed of conveyor Z-3B and Z-4B

Rys. 3. Widok ekranu systemu sterowania przenośnikami taśmowymi dla układu przenośnika Z-3B
Fig. 3. View of the screen of the system of control belt conveyor for the configuration of conveyor Z-3B

poziomu emitowanego hałasu. Przenośnik jest tak zwanym liniowym źródłem emisji hałasu, a zatem ze względu na fakt znacznych długości przenośników w bardzo znaczący sposób oddziałującym na środowisko. Ponadto przenośniki w odróżnieniu od maszyn podstawowych znajdują się nie tylko wewnątrz odkrywki, gdzie istniejące skarpy (wobec pozostawania maszyn z reguły poniżej linii gruntu) w znaczący sposób ograniczają rozprzestrzenianie się hałasu na dalsze obszary, przenośniki często pracują w bezpośredniej bliskości z budynkami i innymi obiektami, tak jak ma to miejsce w opisywanym przypadku.

## Bezpieczne sterowanie przenośnikiem taśmowym o regulowanej prędkości

Zastosowanie przemienników częstotliwości do sterowania silników napędowych przenośników taśmowych pozwala na wykorzystanie funkcji bezpieczeństwa zintegrowanych w przekształtnikach.

W tabeli 1 pokazano zestawienie proponowanych w normie PN-EN 61800-5-2 funkcji bezpieczeństwa przeznaczonych do implementacji w przekształtnikach. Pierwsze trzy z nich określa się jako funkcje zatrzymania. Przy czym norma zharmonizowana z Dyrektywą Maszynową PN-EN ISO 13850 poświęcona zagadnieniu stopu awaryjnego dopuszcza zastosowanie jako funkcji bezpiecznego zatrzymania maszyny jedynie 1. – STO i 2. SST1.

Przykładowo, w przypadku przekształtników Sinamics S120 stosowanych do sterowania prędkością silników indukcyjnych niskiego napięcia funkcje STO i SST1 są zaimplementowane. Ważną cechą funkcji STO jest nie tylko możliwość zatrzymania napędu poprzez odłącznie zasilania w energię, ale również zabezpieczenie przed niespodziewanym rozruchem.

Wśród podstawowych funkcji bezpieczeństwa napędu S120 wymienia się również bezpieczne sterowanie hamulcem (funkcja 11. ; SBC). Na rysunku 4 pochodzącym z dokumentacji Sinamics przedstawiono schemat blokowy tej funkcji, pozwalający na wyjaśnienie zasady jej działania.

Schemat aplikacyjny przedstawiony na rysunku 4 jest najprostszy, ponieważ przewiduje bezpośrednie sterowanie hamulcem silnika elektrycznego z wyjść przekaźnika zintegrowanego z przekształtnikiem, przy czym cewka hamulca musiałaby być sterowana napięciem stałym 24 V, co w praktyce jest niewykonalne dla większych silników. Należy się zatem liczyć z użyciem styczników pośrednich. Dodatkowo, na uwagę zasługuje fakt, iż pokazana na rysunku 4 architektura obwodu sterowania bezpieczeństwem jest zgodna ze specyfikacją kategorii bezpieczeństwa 3. lub 4. wg normy PN-EN ISO 13849-1 (ponieważ jest dwukanałowa). Producent deklaruje w dokumentacji urządzenia (deklaracja zgodności), że ponadto przekształtnik, jako całość, spełnia wymagania poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa SIL 2 lub odpowiadający mu poziom zapewnienia bezpieczeństwa PL d. Może zatem być wykorzystywany w zakresie zintegrowanych funkcji bezpieczeństwa do budowy układów w klasie nie niższej niż wyżej wymienione. Biorąc pod uwagę spotykane w praktyce przemysłowej potrzeby, wynikające z oceny ryzyka są z reguły zupełnie wystarczające.

Ponieważ rodzina przekształtników Sinamics S120 ma budowę modułową, możliwe jest (a właściwie dla większych mocy obligatoryjne) użycie w układzie oddzielnych modułów prostowników (zasilaczy) i falowników. W każdym z wymienionych urządzeń można wykorzystać zintegrowane funkcje bezpieczeństwa, lecz oczywiście w prostownikach jest realizowana w praktyce jedynie funkcja STO. I tak na rysunku 5.A. widzimy redundantną (odpowiadającą 3. lub 4. kategorii bezpieczeństwa strukturę wykorzystującą przekształtnik bez zintegrowanych funkcji bezpieczeństwa, która wymaga dla zapewnienia redundantnego odłączenia zasilania silnika energią dwóch styczników. Przemiennik częstotliwości zawierający zasilacz i falownik musi w analogicznym przypadku być uzupełniony stycznikiem (rys. 5.B), natomiast gdy wykorzystany

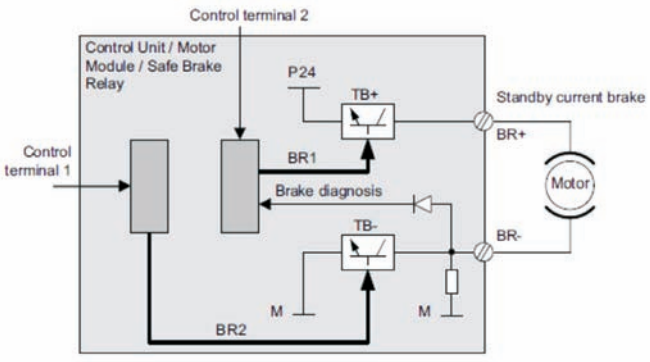
Tab. 2. Funkcje bezpieczeństwa implementowane w przekształtnikach
Tab. 2. Safety functions implemented in the inverters

| Lp. | Grupa funkcji | Oznaczenie funkcji | Nazwa funkcji | Krótki opis |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Funkcje zatrzymania | STO | Bezpieczne wyłącznie momentu napędowego | Odłączenie silnika od źródła zasilania w energię |
| 2 | | SST1 | Zatrzymanie kategorii 1 | Hamowanie dynamiczne i odłączenie zasilania po całkowitym zatrzymaniu |
| 3 | | SST2 | Zatrzymanie kategorii 2 | Hamowanie dynamiczne i pozostawienie zasilania po zatrzymaniu lub osiągnięciu określonej prędkości (bezpiecznej) |
| 4 | Inne funkcje bezpieczeństwa | SOS | Zatrzymanie bezpieczne robocze | Silnik zatrzymany bez działania sił zewnętrznych |
| 5 | | SLS | Prędkość ograniczona bezpiecznie | Zabezpieczenie napędu przed przekroczeniem danej prędkości |
| 6 | | SLT | Moment ograniczony bezpiecznie | Zabezpieczenie napędu przed przekroczeniem danej wartości momentu napędowego |
| 7 | | SLP | Położenie ograniczone bezpiecznie | Napęd chroniony przed przejściem poza dopuszczalne położenie |
| 8 | | SLI | Przyrost ograniczony bezpiecznie | Silnik obraca się o określoną wartość i zatrzymuje się |
| 9 | | SDI | Bezpieczny kierunek | Ograniczenie kierunku wirowania |
| 10 | | SMT | Temperatura ograniczona bezpiecznie | Ochrona przed przegrzaniem silnika |
| 11 | | SBC | Bezpieczne sterowanie hamulcem | Sterowanie hamulcem jako elementem bezpieczeństwa |
| 12 | | SCA | Bezpieczna krzywka | Sygnał bezpieczeństwa zmienia wartość, gdy silnik obraca się poza określonym, dopuszczalnym przedziałem kąta |
| 13 | | SSM | Bezpieczne monitorowanie ograniczenia prędkości | Prędkość obrotowa poniżej pewnej wartości jest monitorowana zmianą poziomu sygnału bezpieczeństwa |

zostanie oddzielny moduł prostownika i falownika stycznik główny w strukturze obwodu bezpieczeństwa jest zbędny.

Dodatkową korzyścią wynikającą z wykorzystania w obwodzie bezpiecznego zatrzymania przekształtników Sinamics S120 jest możliwość zaprojektowania obwodu bezpieczeństwa z użyciem sieci ProfiSafe, łączącej podsystem wykonawczy (przekształtnik) z układem logicznym (np. sterownikiem bezpieczeństwa). Jest to architektura nie tylko niezawodna, lecz i korzystna do stosowania w rozproszonych układach sterowania.

Przy czym, jak to opisano w pracy [7] dla przenośników zstępujących, gdzie konieczne jest zastosowanie hamulca, można zastosować konfigurację z rysunku 5 wraz z aktywną funkcją SBC. Ze względu na możliwość użycia innych funkcji bezpieczeństwa wymienionych w tabeli 2 w ramach tego samego urządzenia (będącego podsystemem części układu sterowania bezpieczeństwa) można na przykład zastosować dynamiczne hamowanie SST1 i w sekwencji czasowej bezpieczne wysterowanie hamulca, co pozwoli na oczekiwane ograniczenie ryzyka. W przypadku taśmociągów można narzucić praktycznie dowolną dynamikę zatrzymania, co jest konieczne w pewnych przypadkach, gdyż sam proces zatrzymywania awaryjnego nie może być źródłem nowych




Rys. 4. Schemat blokowy dla funkcji SBC zintegrowanej w Sinamics S120
Fig. 4. Block diagram for function SBC integrated in Sinamics S120