

Aleksander LUTYŃSKI
Politechnika Śląska, Gliwice
Jacek KUDELA
Kompania Węglowa SA, Oddział KWK Piast, Bieruń

ANALIZA GOTOWOŚCI OPERACYJNEJ SYSTEMÓW ODSTAWY NOWOCZESNYCH KOPALŃ WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie. W referacie przedstawiono wyniki badań gotowości operacyjnej systemu odstawy głównej na jednym z poziomów wydobywczych kopalni podziemnej. Badania wykonano w latach 1997 do 2005 r. Dla poszczególnych lat, w których nie zmieniała się konfiguracja systemu odstawy, wyznaczono ogólnie średnie czasy awarii przenośników oraz średnie czasy poszczególnych rodzajów awarii. Wyznaczono także średnie czasy bezawaryjnej pracy przenośników oraz współczynniki awaryjności i gotowości operacyjnej przenośników. Badania wykazały poprawę tych współczynników na przestrzeni lat, w których wykonano badania.

AVAILABILITY ANALYSIS OF HAULAGE SYSTEMS IN MODERN COAL MINES

Summary. The paper presents results of main haulage system availability in one of the working levels in underground mine. The tests were performed in years 1997 and 2005. For particular years in which the configuration of haulage system has not changed mean times of failures as well as mean times of particular group of failures were determined. Mean times of failure-free working of belt conveyors, failure frequency coefficient and availability was determined. Results of testing revealed improvement of these coefficients during the time of testing.

1. Wprowadzenie

Głębokie zmiany restrukturyzacyjne, które zachodzą w górnictwie polskim od kilkunastu lat, prowadzą w konsekwencji do wysokiej koncentracji wydobywania. W okresie od 1993 do 2004 roku liczba kopalń z 61 zmalała do 41, a liczba ścian wydobywczych z 528 do 144.

Średnie dobowe wydobycie ze ściany wzrosło w tym samym okresie z ok. 1000 do ponad 3000 ton. W konsekwencji tych zmian w zakładzie górniczym przemieszczane są znaczne masy urobku i skały płonnej. Obserwowane łączenie poszczególnych kopalń powoduje, że masy urobku przemieszczane są na znaczne odległości. Z tego względu obserwuje się również zmiany, jakie zachodzą w wyposażeniu systemów odstawy kopalń, które zbudowane są z nowoczesnych przenośników zgrzeblowych ścianowych i podścianowych oraz z przenośników taśmowych. Przenośniki zgrzeblowe pracują w najcięższych warunkach eksploatacyjnych. Ich poziom gotowości eksploatacyjnej wpływa na wielkość i ciągłość strugi urobku generowanej przez kombajn ścianowy. Natomiast najpowszechniej stosowanym w systemach odstawy urobku jest obecnie przenośnik taśmowy. To właśnie w odniesieniu do niego wydatnie wzrosły wymagania co do jego wydajności, jakości i niezawodności. Wydaje się to oczywiste, ponieważ w przeważającej liczbie kopalń całe lub prawie całe wydobycie poziomu eksploatacyjnego odstawiane jest systemem przenośników taśmowych pod szyb, a w niektórych kopalniach całe wydobycie odstawiane jest bezpośrednio na powierzchnię. Systemy odstawy ciągłej stanowią bowiem korzystną alternatywę tak pod względem technicznym, jak i ekonomicznym, dla transportu podziemną koleją kopalnianą oraz transportu szybami. W chwili obecnej znaleźć można także i takie rozwiązania, w których kopalnie węgla kamiennego połączone są przenośnikowymi systemami odstawy z wytwórcami energii elektrycznej czy cieplnej.

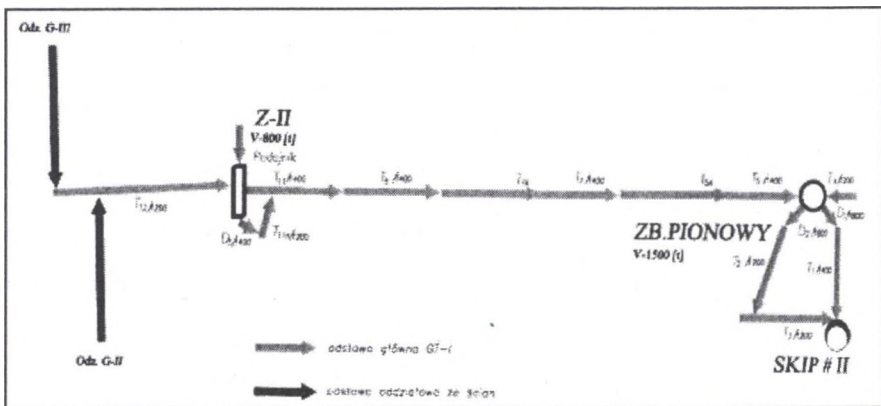
Tak więc wysokie wymagania wynikające ze wzrostu zadań i odpowiedzialności za efekt produkcyjny zakładu wydobywczego przyczyniło się do rozwoju i modernizacji przenośników stanowiących elementy składowe systemów odstawy. Modernizacja ta musiała uwzględnić wielu aspektów, a w tym techniczne, ekonomiczne, niezawodność, a nade wszystko aspekt bezpieczeństwa.

Zmiany rozwojowe i modernizacyjne wymuszają konieczność prowadzenia badań weryfikujących przyjmowane założenia. Jednym z rodzajów takich badań są badania gotowości operacyjnej przenośników prowadzone w normalnych warunkach eksploatacji. Wyniki takich badań przedstawione zostaną w niniejszym referacie.

2. Charakterystyka obiektu badań

Badanie gotowości operacyjnej wykonano w latach 1997 do 2005 w jednej z najnowocześniejszych i największych polskich kopalń podziemnych. Badanie dotyczyło

systemu odstawy głównej na jednym z poziomów wydobywczych kopalni. W okresie prowadzenia badań system odstawy był modernizowany. W modernizacji tej wyróżnić można dwa warianty. Pierwszy z nich polegał na zwiększeniu liczby przenośników w systemie, które wynikało z postępu robót eksploatacyjnych. Drugi wariant, niezwykle istotny jako przedsięwzięcie logistyczne, dotyczył przebudowy odcinka odstawy o długość 3 500 m pomiędzy zbiornikami i polegał na zwiększeniu długości poszczególnych przenośników, zwiększeniu mocy ich napędów, wyposażeniu napędów w urządzenia łagodnego rozruchu i wyposażeniu przenośników w urządzenia napinające. Na przebudowywanych przenośnikach wymieniano także taśmy na nowe, o wyższej wytrzymałości na zrywanie. W wyniku modernizacji zmniejszono liczbę zainstalowanych przenośników pomiędzy zbiornikami, co wpłynęło na zmniejszenie liczby osób zatrudnionych do ich obsługi. Schemat funkcjonalny odstawy głównej poddanej badaniom w konfiguracji z roku 1997 przedstawiono na rys. 1. System odstawy liczył wtedy 14 przenośników (w tym dwa z napędami pośrednimi przesyłowymi) o sumarycznej długości ok. 4610 m. Jak z tego wynika, najistotniejszym fragmentem systemu odstawy był odcinek pomiędzy zbiornikami i dlatego zabiegi modernizacyjne tej części systemu uznano za kluczowe.



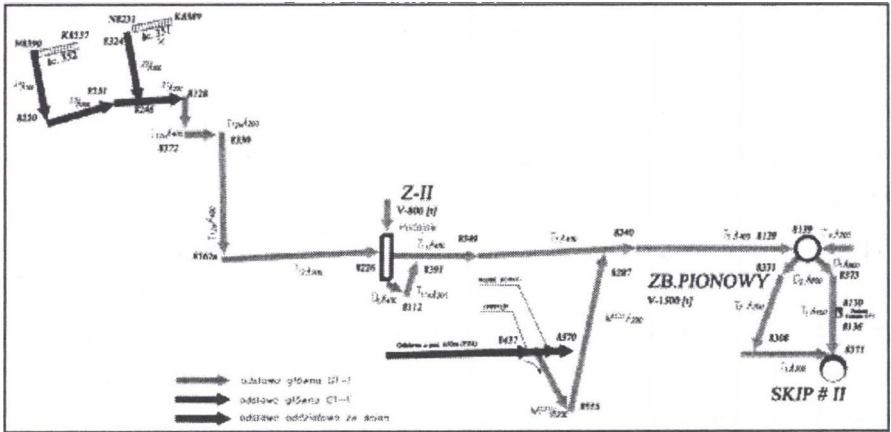
Rys. 1. Schemat funkcjonalny systemu odstawy w konfiguracji z 1997 r.

Fig. 1. Functional scheme of haulage system in configuration from a year 1997

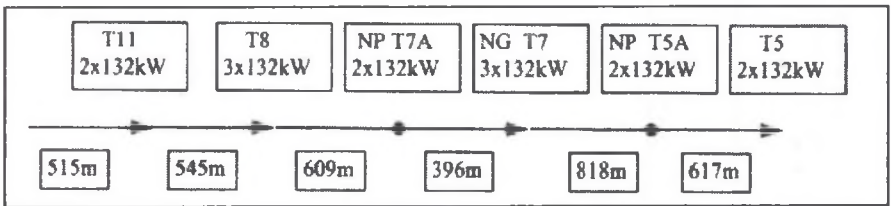
Na rys. 2 przedstawiony został schemat funkcjonalny odstawy głównej w konfiguracji z 2005 roku. System odstawy liczył wtedy 18 przenośników o łącznej długości ok. 6260 m.

Ideowe schematy rozmieszczenia napędów, długości obsługiwanych tymi napędami przenośników, dla odcinka systemu odstawy pomiędzy zbiornikami, na początku badań w 1997 r. i po poszczególnych etapach modernizacji przedstawiono na rys. 3, rys. 4, rys. 5 i rys. 6.

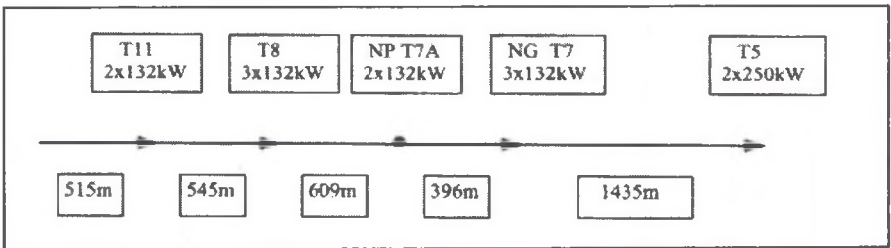
Poszczególne etapy modernizacji odcinka pomiędzy zbiornikami kończyły się w następujących terminach: etap I – listopad 1998 r., etap II – maj 2000 r., etap III – czerwiec 2001 r. Prognozowany jest także etap IV modernizacji, po którym na odcinku 3 500 m pomiędzy zbiornikami będą pracowały dwa przenośniki o długościach 1831 m i 1669 m z napędami o mocach odpowiednio 3 x 250 kW i 2 x 250 kW.



Rys. 2. Schemat funkcjonalny systemu odstawy w konfiguracji z 2005 r.
 Fig. 2. Functional scheme of haulage system in configuration from a year 2005

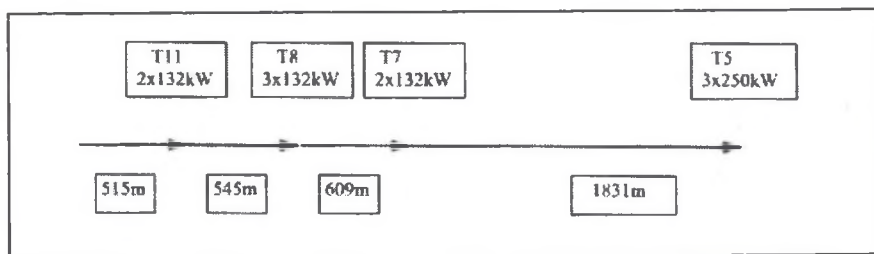


Rys. 3. Schemat ideowy odcinka systemu odstawy przed modernizacją w 1997 r.
 Fig. 3. Scheme of haulage section before the modernization in 1997

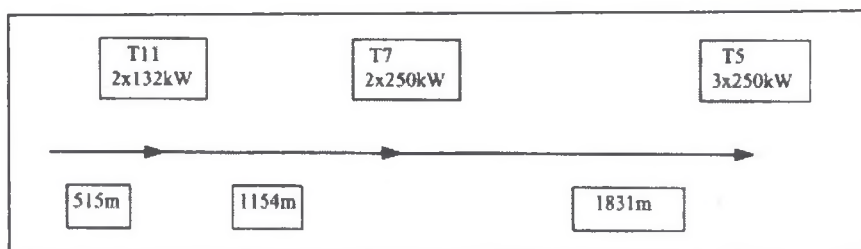


Rys. 4. Schemat ideowy odcinka systemu odstawy po I etapie modernizacji (11.1998 r.)
 Fig. 4. Scheme of haulage section before the modernization (11.1998 R.)

Na rysunkach schematów ideowych odstawy strzałkami zaznaczono napędy główne przenośników, a kropkami napędy pomocnicze.



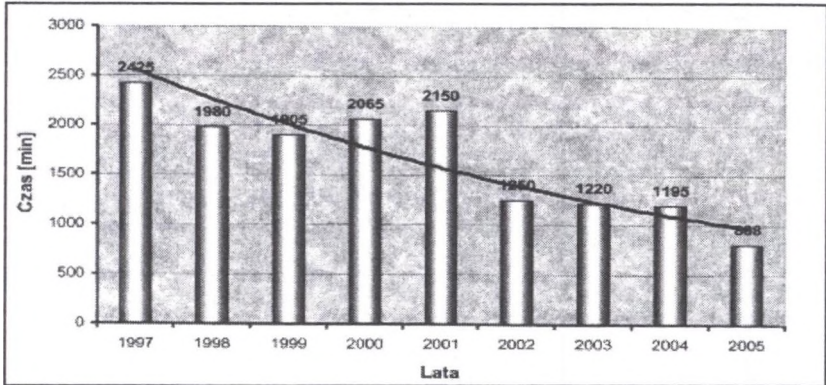
Rys. 5. Schemat ideowy odcinka systemu odstawy po I I etapie modernizacji (05. 2000 r.)
Fig. 5. Scheme of haulage section before the modernization (05.2000 R.)



Rys. 6. Schemat ideowy odcinka systemu odstawy po I I I etapie modernizacji (06. 2001 r.)
Fig. 6. Scheme of haulage section before the modernization (06.2001R.)

3. Wyniki przeprowadzonych badań gotowości operacyjnej systemu odstawy urobku

Badanie gotowości operacyjnej przeprowadzono notując w systemie rejestracji komputerowej dzień, godzinę wystąpienia i usunięcia awarii oraz jej przyczynę w zdefiniowanym przenośniku taśmowym, stanowiącym element systemu odstawy urobku. Na rys. 7 przedstawiono sumaryczne czasy awarii zanotowane w poszczególnych latach prowadzenia badań i zaznaczono linię trendu tych czasów.



Rys. 7. Sumaryczne czasy awarii systemu odstawy głównej w latach 1997 do 2005
 Fig. 7. Sum of failure times of main haulage system in the period 1997 and 2005

Awarie przenośników sklasyfikowano w trzech rodzajach jako górnicze, mechaniczne i elektryczne. W badaniach notowano też postoje systemu wywołane przyczynami innymi jak jego awarie. W analizowanym okresie system pracował 2 711 222 min. Przebywał w stanie postoju 16 980 min., a sumaryczny czas awarii przenośników taśmowych pracujących w systemie wyniósł 14 998 min.

W tabl. 1 podano czasy awarii w rozbiciu na ich rodzaje, a w tabl. 2 ogólne liczby awarii w poszczególnych latach i liczby awarii z rozbiciem na poszczególne ich rodzaje.

Tablica 1

Sumaryczne czasy awarii
 poszczególnych rodzajów w latach prowadzonych badań

Rok	Czasy awarii systemu odstawy urobku		
	górnicze	Rodzaj awarii mechaniczne	elektryczne
1997	1805	255	365
1998	1436	234	310
1999	1375	200	330
2000	1460	225	380
2001	1505	255	390
2002	960	55	235
2003	996	30	194
2004	955	32	208
2005	580	13	215

Tablica 2

Liczby awarii ogółem i w rozbiciu
na poszczególnych rodzaje w poszczególnych latach

Rok	Liczby awarii systemu odstawy urobku			
	ogółem	górnice	mechaniczne	elektryczne
1997	294	188	31	75
1998	249	167	29	53
1999	258	168	27	63
2000	259	170	29	60
2001	272	168	28	76
2002	192	99	29	64
2003	277	194	15	68
2004	286	215	28	43
2005	225	155	21	49

Analizując wyniki badań zawarte na rys. 7 i w tabl.1 oraz tabl. 2, stwierdzić można, że w badanym okresie istotnie zmniejszył się sumaryczny czas przebywania systemu odstawy w stanie awarii. W roku 1997 przenośnikowy system odstawy zbudowany z czternastu przenośników o łącznej długości ok. 4610 m przebywał w stanie awarii przez 2 425 min. W roku 2005 natomiast system ten zbudowany już z osiemnastu przenośników o łącznej długości ok. 6260 m przebywał w stanie awarii przez 808 min.

Na podstawie uzyskanych danych wyznaczono podstawowe wskaźniki niezawodności pracy systemu odstawy.

Do wskaźników tych zaliczono:

- wartość oczekiwaną czasu pracy i awarii systemu, które obliczono z zależności:

$$T_p = \frac{\sum T_s}{n}, \quad \text{min.}, \quad (1)$$

i odpowiednio:

$$T_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{ai}, \quad \text{min.}, \quad (2)$$

gdzie:

T_p, T_a - średnie czasy trwania odpowiednio stanu pracy i awarii systemu, min.,

$\sum T_s$ - sumaryczny czas pracy systemu odstawy, min.,

n - liczba zaobserwowanych zmiennych losowych - awarii,

t_{ai} - zmienne losowe czasów trwania stanu awarii, min.,

- wskaźniki intensywności występowania i zanikania awarii systemu odstawy wyznaczone z zależności:

$$\lambda = \frac{1}{T_p}, \quad 1/\text{min} \quad (3)$$

i odpowiednio

$$\mu = \frac{1}{T_a}, \quad 1/\text{min} \quad (4)$$

- współczynnik awaryjności systemu odstawy wyznaczany z zależności:

$$\chi = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{T_a}{T_p} \quad (5)$$

- współczynnik gotowości operacyjnej systemu odstawy

$$K_g = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{T_p}{T_a + T_p} \quad (6)$$

Podstawowe wskaźniki niezawodności systemu zestawiono w tabl. 3.

Tablica 3

Podstawowe wskaźniki niezawodności przenośnikowego systemu odstawy urobku

Rok	Wyznaczony wskaźnik niezawodności					
	$T_p, \text{ min.}$	$T_a, \text{ min.}$	$\lambda, 1/\text{min.} \times 10^{-4}$	$\mu, 1/\text{min.}$	$\chi \times 10^{-3}$	K_g
1997	964	8,2	10,2	0,122	8,5	0,9916
1998	1209	7,9	8,3	0,126	6,5	0,9935
1999	1167	7,4	8,5	0,135	6,3	0,9937
2000	1162	8,0	8,6	0,125	6,8	0,9932
2001	1106	7,9	9,0	0,126	7,1	0,9929
2002	1571	6,5	6,3	0,154	4,1	0,9959
2003	1089	4,4	9,2	0,227	4,0	0,9960
2004	1055	4,2	9,5	0,238	4,0	0,9960
2005	1343	3,6	7,4	0,278	2,7	0,9973

Wyniki zamieszczone w tabl. 3 zmieniają się w poszczególnych latach prowadzenia badania. Charakteryzuje je jednak pewna tendencja poprawy poziomu wyznaczanych wskaźników. Wydaje się, że w dokonywanej analizie należy pominąć lata, w których wykonywano modernizację systemu odstawy. Są to lata 1998 do 2001. Przebudowa przenośników podczas normalnej eksploatacji poziomu wydobywczego skutkowałą zwiększoną liczbą awarii oraz zwiększeniem sumarycznego czasu przebywania systemu w stanie awarii. Jest to zauważalne na rys. 7, gdzie od stałej tendencji do zmniejszania czasu

przebywania systemu w stanie awarii odbiegają lata 2000 i 2001. Najbardziej wiarygodnymi dla porównania wyników wydają się lata 1997 oraz 2002 do 2005. W tych latach system odstawy był ukształtowany i nieprzebudowywany.

Porównując wyniki uzyskane w tych latach, wyraźnie widać, że rosną czasy bezawaryjnej pracy systemu, a maleją czasy usuwania awarii. Skutkuje to korzystną zmianą wskaźników intensywności występowania i zanikania awarii. Maleje współczynnik awaryjności systemu odstawy i rośnie współczynnik gotowości systemu. Współczynnik gotowości systemu wzrasta od wartości 0,9916 w 1997 r. do wartości 0,9973 w 2005 roku. Współczynnik ten traktować należy jako sprawność systemu, która ma swoje przełożenie na efekt techniczny zakładu górniczego – wydobywanie węgla.

Analizując wskaźniki niezawodności systemu i znając liczbę zainstalowanych w nim przenośników, można pokusić się o oszacowanie ogólnych wskaźników niezawodności przeciętnego przenośnika zainstalowanego w systemie, zgodnie z zasadami obowiązującymi w teorii niezawodności [1]. Porównując tylko pierwszy i ostatni rok prowadzenia badania, stwierdzić można, że średni czas pracy pomiędzy awariami przeciętnego przenośnika taśmowego wynosił 13 496 min., a w 2005 roku 24 174 min. Tym samym zmienił się istotnie wskaźnik intensywności występowania awarii przenośnika z $7,4 \times 10^{-5}$ na $4,1 \times 10^{-5}$. Jest to, jak widać, blisko dwukrotna zmian wartości tych wskaźników. Współczynnik awaryjności przeciętnego przenośnika systemu zmniejszył się z $6,1 \times 10^{-4}$ do $1,5 \times 10^{-4}$, a współczynnik gotowości systemu wzrósł z 0,9994 na 0,9999.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania gotowości operacyjnej przenośnikowego systemu odstawy głównej w kopalni podziemnej węgla kamiennego wykazały, że w czasie dziewięciu lat poziom wyznaczanych wskaźników niezawodności ulegał korzystnym zmianom. Bardzo wyraźnie wzrósł współczynnik gotowości systemu do realizacji przypisanych mu zadań transportowych.

Niezwykłe interesujące z punktu widzenia sprawności systemu odstawy były zabiegi modernizacyjne pewnej grupy przenośników taśmowych. Cztery przenośniki, mające sześć napędów, zastąpiono trzema przenośnikami o napędach większej mocy, z urządzeniami łagodnego rozruchu i urządzeniami napinającymi taśmę. Jak się wydaje, zmiana ta korzystnie wpłynęła na poziom niezawodności systemu, a przede wszystkim na jego poziom gotowości

operacyjnej. Wydaje się, że ciekawe byłoby przeprowadzenie dokładnych badań zmian w poziomie niezawodności przenośników taśmowych obsługujących odcinek 3500 m pomiędzy zbiornikami wraz z analizą ekonomiczną nakładów i skutków modernizacji. Analiza taka pozwoli na pełną ocenę efektywności działań podjętych przez kopalnię.

LITERATURA

1. Czaplicki J., Lutyński A.: Transport poziomy. Zagadnienia niezawodności. Skrypt Pol. Śląskiej nr 1230. Gliwice 1987.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Sikora