

*Przenośnik taśmowy, koszty inwestycyjne, koszty eksploatacyjne,
symulacje Monte Carlo, NPV, taśma przenośnikowa, krążnik,
wymiany taśm, wymiany krążników*

Leszek JURDZIAK*

METODA SZACOWANIA KOSZTÓW INWESTYCYJNYCH ORAZ EKSPLOATACYJNYCH PRZENOŚNIKÓW

W artykule opisano metodę szacowania wariantowych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych przenośników taśmowych w oparciu o analizę LCA (Life Cycle Analysis) z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo wymian odcinków taśm oraz krążników dla zadanych rozkładów czasów ich pracy. Zaproponowano by ocenę różnych wariantów przenośnika prowadzić poprzez porównanie sumy zdyskontowanych kosztów dla wygenerowanego w programie Crystal Ball v.7.3 strumienia wymian taśm i krążników w całym okresie planowanej jego eksploatacji. Przeprowadzono przykładowe obliczenia dla hipotetycznego przenośnika o długości 1000m. Metoda wymaga rozbudowania o zdyskontowane koszty zużycia energii oraz korelacje pomiędzy parametrami przenośnika i rozkładów czasu ich pracy. Wtedy z powodzeniem będzie mogła służyć projektantom przenośników i ich użytkownikom do porównywania różnych wariantów, optymalizacji rozwiązań oraz planowania wydatków na obsługę transportu przenośnikowego oraz prowadzenia optymalnej gospodarki magazynowej.

1. WPROWADZENIE

Wysoki poziom cen energii i spodziewany ich wzrost spowodowany nałożeniem przez rządy państw limitów na emisję gazów cieplarnianych powoduje, że poziom zużycia energii przez urządzenia przemysłowe (i nie tylko) staje się kluczowym czynnikiem przy ich doborze. Użytkownicy przenośników coraz większą wagę przywiązują, więc nie tylko do jego kosztów inwestycyjnych, ale również eksploatacyjnych. Łączna szacunki zdyskontowanych kosztów zakupu, instalacji, eksploatacji (napraw, wymiany i użytkowania w tym zużycia energii) oraz utylizacji przenośników i ich

* Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii
leszek.jurdziak@pwr.wroc.pl

elementów (np. taśm) oparte na metodzie LCA (Life Cycle Analysis) powinny stać się podstawowym elementem przy podejmowaniu decyzji o doborze konkretnego urządzenia do określonych zadań transportowych.

Na bazie dotychczasowych doświadczeń związanych z szacowaniem kosztów eksploatacji dwóch najdroższych w użytkowaniu elementów przenośnika tzn. taśm przenośnikowych [11] oraz krążników [13], a także doświadczeń w zakresie badania trwałości elementów przenośników [20, 22] oraz obliczeń oporów ich ruchu [1,23] i zidentyfikowanych zależności pomiędzy nimi [3] opracowana została kompleksowa metoda szacowania wariantowych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych przenośnika.

Liczne badania i prace prowadzone w Zakładzie Systemów Maszynowych pokazały, że oprócz zużycia energii koszty wymian, zakupu i regeneracji taśm oraz krążników stanowią najistotniejsze elementy składowe kosztów eksploatacji przenośników. Ich poziom sięgający wielu milionów złotych rocznie w dużych kopalniach stwarza znaczny potencjał oszczędności przy optymalizacji na etapie ich doboru, wykonania oraz eksploatacji.

2. METODA SZACOWANIA WARIANTOWYCH KOSZTÓW TRANSPORTU PRZENOŚNIKOWEGO

Przy wyborze konkretnego rozwiązania systemu transportu taśmowego użytkownik może kierować się różnorodnymi kryteriami np. technicznymi, bezpieczeństwa, czy też ekonomicznymi. Te ostatnie są w jakimś sensie nadrzędne, gdyż nawet wtedy, gdy inne kryteria z jakichś względów muszą być spełnione to i tak spośród wszystkich rozwiązań, które spełniają nałożone warunki konieczne użytkownik zachowujący się racjonalnie i tak powinien wybrać rozwiązanie najkorzystniejsze z ekonomicznego punktu widzenia. Oczywiście zarówno wskazanie racjonalnych ekonomicznych kryteriów jak i oszacowanie pełnych kosztów związanych z danym rozwiązaniem (zarówno kosztów inwestycyjnych jak i eksploatacyjnych) nie jest łatwym zadaniem. Konieczne jest zgromadzenie informacji o wszystkich kosztach związanych z budową i użytkowaniem przenośników. O ile stosunkowo łatwo jest zidentyfikować wszystkie koszty inwestycyjne to określenie kosztów eksploatacyjnych musi być oparte na szacunkach wykorzystujących zgromadzoną wiedzę i doświadczenie [21]. Na koszty eksploatacyjne decydujący wpływ mają dwa czynniki. Pierwszym z nich jest energia niezbędna do transportu urobku i pokonania oporów ruchu. Drugim jest trwałość poszczególnych komponentów. Oba czynniki nie są stałe i wiele parametrów ma na nie wpływ [13]. Na opory obracania krążników (jednej z wielu składowych oporów głównych), a więc i na zużycie energii elektrycznej ma wpływ [4]: temperatura, obciążenia, stopień wyeksploatowania krążników itp. Również trwałość wielu komponentów przenośnika, a zwłaszcza najdroższego z nich taśmy przenośnikowej [11], ma istotny wpływ na

łącznie koszty ich zakupu i eksploatacji [10]. Istotny wpływ na trwałość taśmy ma długość przenośnika [6, 17], stopień załadowania przenośnika [19], czy rodzaj urobku [5] a więc istotne parametry projektowanego systemu. Konieczne jest więc opracowanie ogólnej metody szacowania kosztów przenośnika by móc obliczać łączne koszty różnorodnych rozwiązań i porównywać je [2]. Dysponując taką metodą po wyborze odpowiedniego kryterium porównania można pokusić się o optymalizację dostępnych rozwiązań.

Do oszacowania wariantowych kosztów zakupu, instalacji, eksploatacji (napraw, wymiany i użytkowania w tym zużycia energii) z wykorzystaniem metody LCA (Life Cycle Analysis) zaproponowano zastosowanie metody zaktualizowanej wartości netto (NPV) opartej na analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych związanych z zakupem i eksploatacją przenośnika w okresie planowanej jego eksploatacji. Metoda ta była już zaproponowana do oceny opłacalności zakupu, wymiany i eksploatacji krążników [13] i może być z powodzeniem rozszerzona na cały przenośnik z innymi elementami m.in. taśmą.

$$NPVKP_{zek} = CFKP_z + \sum_{n=1}^{ET_k} \frac{CFKP_e(n)}{(1+i)^n} \quad (1)$$

gdzie:

- $NPVKP_{zek}$ – Wartość bieżąca netto kosztu zakupu i eksploatacji przenośnika w okresie planowania jego eksploatacji N lat, zł,
- $CFKP_z$ – Przepływy finansowe (wydatki inwestycyjne) związane z zakupem i instalacją przenośnika, zł,
- $CFKP_e(n)$ – Przepływy finansowe związane z eksploatacją przenośnika w n -tym okresie rozliczeniowym (miesiącu lub roku), zł,
- i – Stopa dyskontowania = średnioważony koszt kapitału w firmie użytkującej przenośnik w skali okresu rozliczeniowego (dyskontowego), %,
- n – Numer okresu rozliczeniowego (dyskontowego), $1 \dots N$,

Przedstawienie kosztów zakupu i eksploatacji przenośnika w okresie jego pracy od montażu do demontażu i złomowania w postaci wartości aktualnej netto przyszłych przepływów finansowych związanych z jego eksploatacją pozwala ocenić wartość bieżącą wszystkich kosztów związanych z przenośnikiem w okresie jego użytkowania.

Przedstawiony wzór jest bardzo ogólny i wymaga uszczegółowienia, gdyż na poszczególne przepływy (koszty) składa się wiele czynników. Dodatkowo jedynie koszty inwestycyjne można przyjąć jako znane dokładnie, podczas gdy wiele składników kosztów eksploatacji jest w poszczególnych latach niepewna. Momenty wymian zestawów krążników, czy taśm mają charakter losowy – losowe są więc też koszty. Sza-

cowanie kosztów eksploatacyjnych powinno się dlatego odbywać metodami symulacyjnymi w oparciu o dobrane rozkłady momentów wymian [18].

Krażnik czy odcinek taśmy o wyższej trwałości w analizowanym okresie pracy wymieniony zostanie mniejszą ilością razy, co obniży kosztów eksploatacji [10, 15].

2.1. WYDATKI INWESTYCYJNE ZWIĄZANE Z ZAKUPEM I INSTALACJĄ PRZENOŚNIKA

W tabeli 1 zaprezentowano przykładowe koszty inwestycyjne przenośnika o długości 1 000 m z podziałem na różne koszty składowe. Dane są hipotetyczne i nie można utożsamiać ich z żadnym realnym przenośnikiem. Niemniej tabela pozwala zorientować się co składa się na koszty inwestycyjne oraz ocenić skalę wydatków.

Tabela. 1 Koszty inwestycyjne przenośnika taśmowego o długości 1 000m

Table. 1 Capital costs of the belt conveyor having length of 1 000m.

Koszty jednostkowe elementów wymiennych przenośnika	[PLN]
Cena 1 mb taśmy	1 000
Cena zestawu krażników górnych	1 200
Cena zestawu krażników dolnych	1 400
Cena 1 segmentu trasy	22 397
Cena montażu 1 mb trasy	1 100
Cena montażu elementu	270
Koszty inwestycyjne	
Montaż stacji czołowej	1 450 000
Stacja czołowa	6 600 000
Transport i ustawienie	40 000
Wyposażenie elektryczne stacji napędowej	2 100 000
Kotwienie	120 000
Stacja zwrotna	830 000
Trasa	2 986 301
Montaż trasy łącznie	1 370 000
Segment skrajny 2 szt	320 000
Segment środkowy 2 szt.	350 000
Podpory i zastrzały	129 630
<i>Długość taśmy</i>	<i>2 100 mb</i>
Koszt zakupu i montażu taśmy	2 100 000
<i>Ilość zestawów krażników górnych</i>	<i>400 szt.</i>
Koszt kr. górnych	480 000
<i>Ilość zestawów krażników dolnych</i>	<i>133 szt.</i>
Koszt kr. dolnych	186 667
Razem	19 062 598

Proporcje kosztów mogą ulegać zmianie wraz ze wzrostem długości przenośnika. Wprawdzie koszt stacji czołowej i zwrotnej będą podobne, lecz znacznemu obniżeniu mogą ulec koszty składowe 1 m trasy. Model kosztów w arkuszu Excel jest otwarty i może zostać dowolnie rozbudowany i uściślony w miarę dopływu szczegółowych danych o konkretnej instalacji.

Koszty inwestycyjne wydatkowane zaraz po okresie analizy przyjmowane są za pewne i nie są dyskontowane. Wszystkie pozostałe koszty przeliczane są na moment rozpoczęcia inwestycji (poniesienia tych kosztów). Na koszty eksploatacyjne składają się koszty wymian odcinków taśm i krażników oraz koszty zużywanej energii.

Program taki, przynajmniej jego zasadniczy szkielet, powstał właśnie w ramach projektu badawczego. Będzie on nadal rozwijany, gdyż złożoność powiązań różnorodnych parametrów i kosztów oraz konieczność prowadzenia dalszych badań identyfikacyjnych w tym zaawansowanych analiz stochastycznego strumienia urobku na przenośnikach odbierających urobek z koparek, a zwłaszcza przenośnikach zbiorczych wykracza poza ramy czasowe projektu badawczego. Badania te będą jednak kontynuowane.

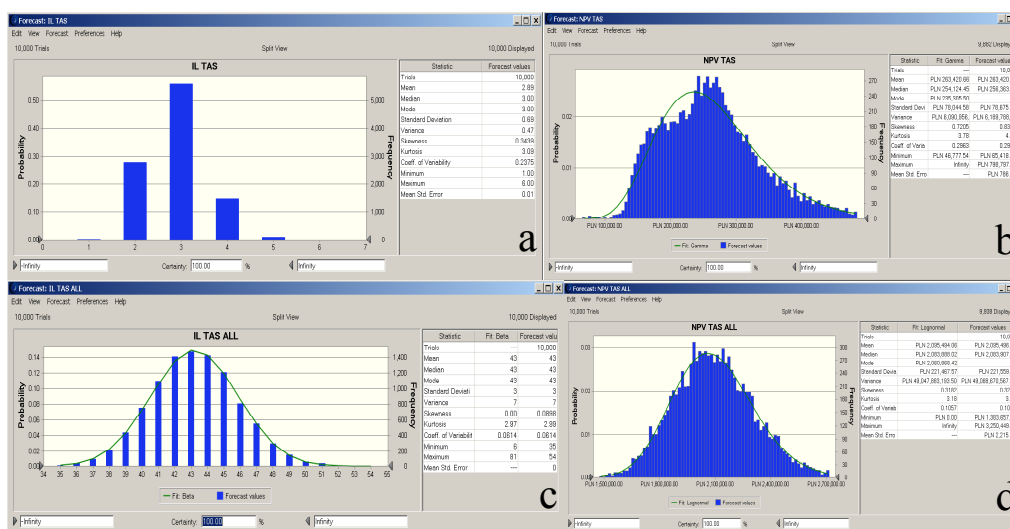
2.2. ZASTOSOWANIE METODY MONTE CARLO DO WYZNACZENIA KOSZTÓW TRANSPORTU PRZENOŚNIKOWEGO

Z uwagi na fakt, że jedynie koszty inwestycyjne są znane w momencie podejmowania decyzji, a pozostałe elementy są znane jedynie w przybliżeniu to należy je potraktować jako zmienne losowe. Przyjęto, że szacowanie kosztów będzie prowadzone wariantowo z wykorzystaniem metod symulacji Monte Carlo. Parametrami podlegającymi zmianie będą przyszłe ceny elementów przenośnika, planowany okres jego eksploatacji, ceny energii oraz koszty prac obsługowych oraz inne przyjęte założenia dotyczące trwałości jego elementów, dla których dobierane będą rozkłady prawdopodobieństwa i ich parametry. Podejście symulacyjne i wariantowe pozwala nie tylko na wyznaczenie oczekiwanych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych na jednostkę oczekiwanego/planowanego czasu pracy wraz z przedziałem ufności i odchyleniem standardowym, lecz również na przeprowadzenie analizy wrażliwości tych kosztów na zmianę założeń ze wskazaniem kluczowych parametrów, na których zmianę koszty te są najbardziej wrażliwe. Informacje te będą stanowiły cenną wskazówkę dla użytkowników przenośnika przy jego wyborze. Opracowany moduł analiz ekonomicznych będzie też wykorzystany przy optymalizacji konstrukcji przenośnika.

2.3 KOSZTY WYMIAN ODCINKÓW TAŚM

Koszty wymian odcinków taśm w arkuszu szacowane są następująco. W zależności od długości przenośnika, a właściwie od długości pętli taśmy, oblicza się liczbę odcinków taśm. W pierwszym przybliżeniu koszty wymian taśm szacuje się przyjmując pewne upraszczające założenia.

Po pierwsze przyjmuje się, że taśmy wymienia się całymi odcinkami, a ilość i momenty wymian wyznacza się symulacyjnie losując kolejne czasy pracy każdego odcinka aż przekroczony zostanie planowany czas eksploatacji. Czas pracy losowany jest z rozkładu Weibulla o parametrach uzależnionych od długości przonośnika [16], może być także losowany z rozkładu normalnego [8]. Liczne badania [6, 17] wykazały bowiem pozytywny wpływ długości przonośnika na wzrost czasu pracy taśmy, a przez to na obniżenie łącznych kosztów wymian. Koszty wymiany całego odcinka dyskontowane są na moment rozpoczęcia inwestycji z uwzględnieniem przepracowanego czasu tego odcinka i wszystkich wcześniej wymienionych. Dzięki temu w jednym kroku symulacji można obliczyć zaktualizowaną wartość netto kosztów wszystkich wymian tego odcinka. Z uwagi na to, że symulacje te przeprowadza się dla wszystkich odcinków taśm w pętli można w jednym kroku symulacji obliczyć NPV kosztu wymian wszystkich odcinków taśm w okresie planowanej eksploatacji przonośnika. Wielokrotne powtórzenie tego kroku (tu zrobiono to 10 000 razy) umożliwia określenie rozkładu NPV kosztów wymian odcinków taśm na przonośniku w całym okresie jego planowanej pracy.



Rys. 1. Rozkład liczby wymian odcinków taśm i zaktualizowanych ich kosztów w okresie 20 lat
Fig. 1. Distribution of number of replacements and their PV costs Turing 20 years.

Na podstawie rozkładu ilości wymian pojedynczego odcinka taśmy (Rys. 1b) można zauważyć, że wartością modalną liczby wymian jest 3, co wynika z założenia 20-letniego okresu eksploatacji przonośnika i przyjętego oczekiwanego czasu pracy odcinka taśmy do wymiany na poziomie 72 mies. (6 lat). Na zbiorczym rysunku przedstawiono rozkłady:

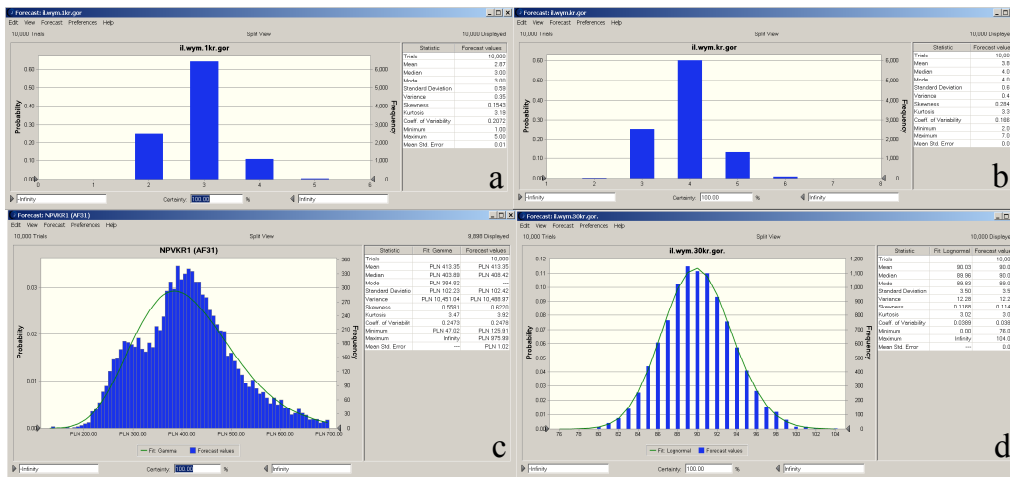
- wartości bieżącej kosztów wymian pojedynczego odcinka (Rys. 1b),

- liczby wymian wszystkich odcinków taśm na przenośniku (Rys. 1c),
- zaktualizowanych kosztów wymian wszystkich odcinków taśm w całym okresie 20 lat eksploatacji przenośnika okresie (Rys. 1d).

Można zauważyć, że dla przyjętych założeń łączna wartość NPV wszystkich wymian taśmy odpowiada kosztom inwestycyjnym jego otaśmowienia (Rys. 1d).

2.3 KOSZTY WYMIAN KŁĄŻNIKÓW GÓRNYCH I DOLNYCH

Podobną metodę obliczeń zastosowano dla kłężników górnych i dolnych. Z uwagi na dużą liczbę zamontowanych kłężników w modelu nie symuluje się czasów pracy dla wszystkich kłężników, lecz jedynie dla trzydziestu, a uzyskane liczby wymian i zdyskontowane koszty wymian przemnaża się przez liczbę kłężników podzieloną przez 30. Liczba kłężników wyznaczana jest na podstawie długości przenośnika, rozstawu zestawów kłężników oraz liczby kłężników w zestawie. Przyjęto, że rozkład czasu pracy kłężnika górnego do awarii jest rozkładem normalnym $N(m = 72 \text{ mies}, \sigma = 24 \text{ mies})$, a rozkład czasu pracy kłężnika dolnego $N(m = 60 \text{ mies}, \sigma = 16 \text{ mies})$.



Rys. 2. Rozkład liczby wymian kłężników górnych oraz ich zaktualizowanych kosztów w okresie 20 lat
Fig. 2. Distribution of number of replacements of upper idlers and their discounted costs

Rozkład liczby wymian pojedynczego kłężnika przedstawiono na rysunku 2a. W modelu przyjęto, że każdy kłężnik wymieniany jest osobno. Można również zmodyfikować to podejście i przyjąć, że kłężniki wymienia się całymi zestawami po pierwszym uszkodzeniu dowolnego kłężnika w zestawie.

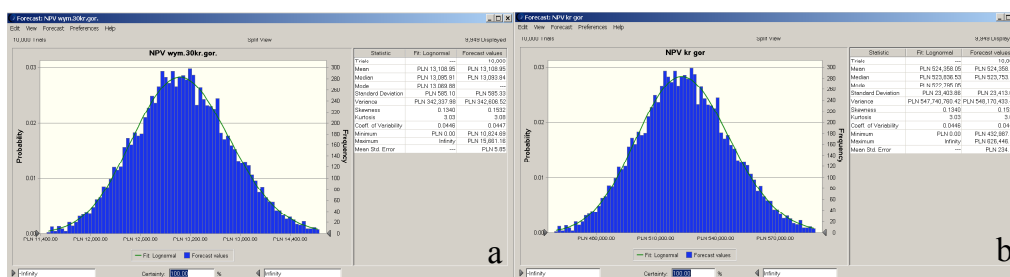
Oznacza to, że wymiana zestawu następuje wtedy po czasie $\min(T_1, T_2, T_3)$, gdzie czasy T_i oznaczają wylosowane czasy pracy pojedynczego kłężnika. Z rozkład liczby wymian całych zestawów (Rys. 2b). Można zauważyć, że liczba wymian całych ze-

stawów jest wyraźnie wyższa, co może spowodować zawyżenie szacunków kosztów wymian krążników. Wprawdzie wymiany w kopalniach prowadzi się właśnie całymi zestawami, ale sprawne krążniki powracają do eksploatacji, co obniża koszty. Szacunki oparte na wymianach pojedynczych krążników powinny więc być bliższe rzeczywistym kosztom.

Obserwując rozkład wartości obecnej przyszłych kosztów wymian pojedynczego krążnika (Rys. 2c) można zauważyć, że nie jest on symetryczny, a wartość oczekiwana wynosi ok. 413 zł i taka jest właśnie szacowana wartość obecna przyszłych kosztów jego wymian.

Po uwzględnieniu, że wymiany nie dotyczą tylko pojedynczego krążnika, lecz ich grupy można dzięki symulacji uzyskać rozkład empiryczny liczby wymian krążników w grupie 30 krążników (Rys. 2d). Rozkład ten jest już wygładzony i symetryczny, gdyż widać efekty działania prawa wielkich liczb. Najlepszy z dobranych rozkładów nie jest jednak rozkładem normalnym, gdyż wpływ niesymetryczności rozkład liczby wymian pojedynczego krążnika jest ciągle widoczny.

Podobnie rozkład wartości obecnej kosztów wymian krążników górnych w takiej grupie jest znacznie bardziej regularny (porównaj Rys. 2c i Rys. 3a).



Rys. 3. Rozkład NPV kosztów wymian krążników górnych w grupie 30 i dla wszystkich krążników

Fig. 3. NPV distribution of upper idlers replacement costs in group of 30 idlers and for all idlers

Po ekstrapolacji tego rozkładu na wszystkie krążniki górne otrzymujemy szacunki wartości NPV kosztów wymian wszystkich krążników górnych (Rys. 3b).

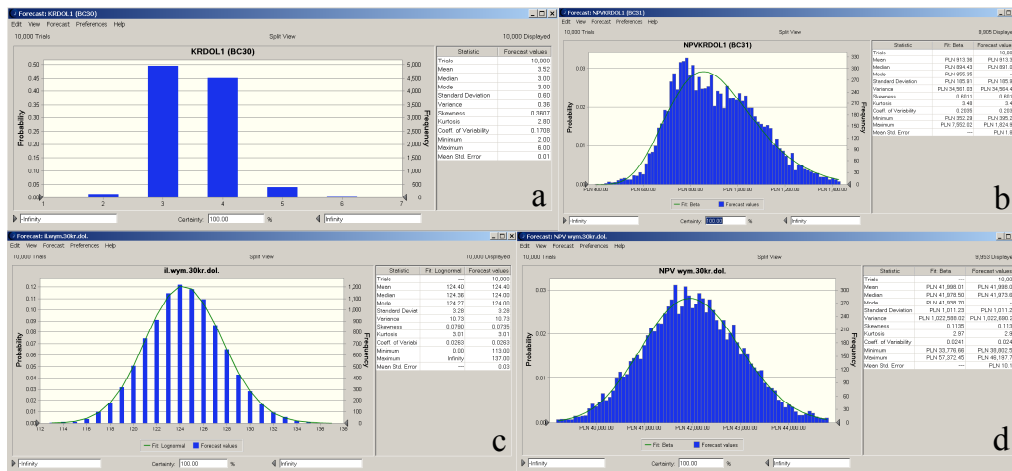
Wartość bieżąca kosztów wymian wszystkich krążników (ich wartość oczekiwana) przekracza koszty inwestycyjne tych krążników o 40 tys. PLN i wyniosła ok. 524 tys. PLN. Najlepiej dobranym rozkładem okazał się rozkład logarytmiczno-normalny, podobnie jak rozkład liczby wymian w grupie 30 krążników. Należy jednak pamiętać, że wartość bieżąca kosztów wymian nie stanowią prostego iloczynu liczby wymian i kosztów jednej wymiany, lecz są sumą zdyskontowanych kosztów wszystkich wymian krążników górnych w analizowanym okresie eksploatacji przenośnika.

Ciekawym zadaniem byłaby próba znalezienia analitycznego rozwiązania tego zagadnienia [7]. Wydaje się, że można znaleźć rozwiązanie, gdyż wymiany krążników można traktować jako zdarzenia w pełni niezależne. Nie można tego samego powie-

dzień o wymianach taśm, gdyż jest to znacznie bardziej złożone zagadnienie [9]. Pojście tu zaprezentowane jest uproszczone i wymaga dopracowania.

Podobną analizę jak dla zestawów górnych zrobiono dla zestawów dolnych. Na rysunku 4 przedstawiono empiryczne rozkłady:

- liczby wymian pojedynczego krążnika dolnego (Rys. 4a),
- wartości zaktualizowanych kosztów wymian krążnika dolnego (Rys. 4b),
- liczby wymian w grupie krążników 30 krążników dolnych (Rys. 4c) oraz
- zaktualizowanych kosztów tych wymian (Rys. 4d).



Rys. 4. Różne rozkłady empiryczne dla liczby wymian krążników dolnych i ich kosztów

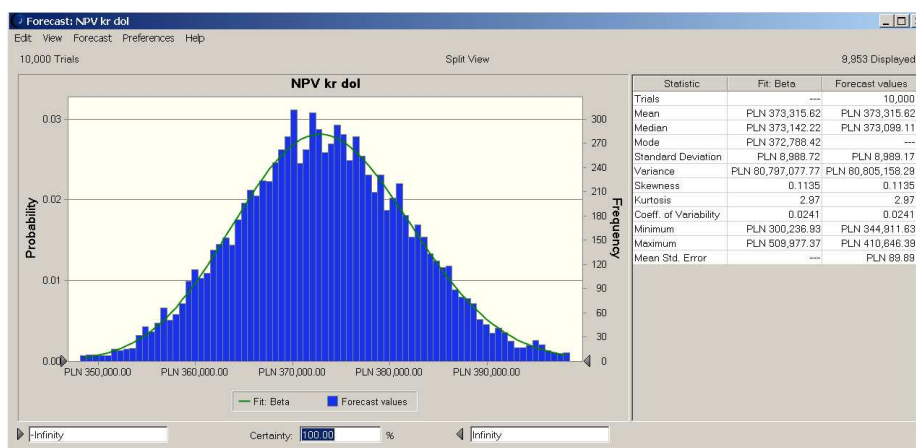
Fig. 4. Different empirical distributions for number of replacements of bottom idlers and their costs

Rozkład liczby wymian krążnika dolnego wygląda inaczej niż dla krążników górnych (por. Rys. 2a). Jest ona wyższa, gdyż założono, że oczekiwany czas pracy krążnika dolnego jest o 12 miesięcy krótszy. Koszty wymian krążnika dolnego są ponad dwukrotnie wyższe niż dla górnego, gdyż nie tylko czasy pracy są mniejsze, lecz i koszt krążnika wyższy. Inny też ma kształt histogram i inny jest dobrany rozkład. Dla krążników górnych był to rozkład gamma, podczas gdy dla krążników dolnych – beta.

Na podstawie rozkładu liczby wymian w grupie 30 krążników dolnych można zauważyć, że wartość modalna i średnia są wyższe o ponad 30 wymian. Dobre rozkłady są jednak takie same – logarytmiczno–normalne. Podobne też są standardowe odchylenia. Zaktualizowane koszty wymian w grupie 30 krążników dolnych są prawie trzykrotnie wyższe niż dla krążników górnych.

Wartość oczekiwana zaktualizowanych kosztów wymian wszystkich krążników dolnych pokazana jest na rysunku 5. Okazuje się, że choć koszt wymian dla jednego krążnika jest 3-krotnie wyższy (podobnie zresztą jak koszt wymian w grupie 30 krążników) to jednak łączne koszty wymian wszystkich krążników stanowią zaledwie

69% kosztów wymian krążników górnych. Wynika to z różnicy liczby zainstalowanych krążników obu rodzajów. Krążników górnych dla założonych danych jest ponad czterokrotnie więcej i dlatego koszty ich wymian są wyższe.



Rys. 5. Rozkład PV kosztów przyszłych wymian wszystkich krążników dolnych.

Fig. 5. Distribution of PV of future replacement costs for all bottom idlers

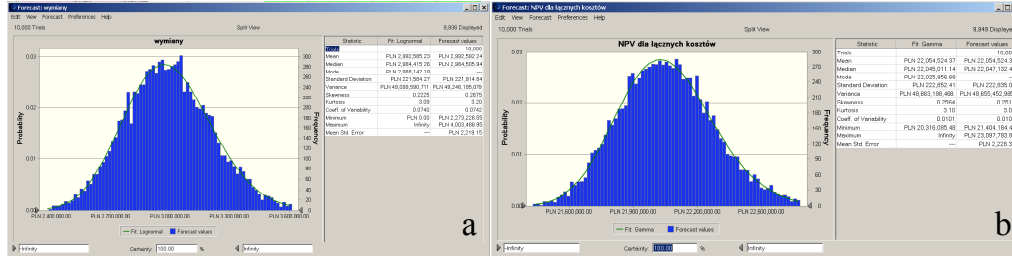
2.4 ŁĄCZNE KOSZTY WYMIAN ODCINKÓW TAŚM I KRĄŻNIKÓW

Po zsumowaniu zaktualizowanych kosztów wymian odcinków taśm oraz krążników górnych i dolnych w całym okresie eksploatacji otrzymuje się histogram empiryczny kosztów wymian (Rys. 6a).

Po dodaniu kosztów inwestycyjnych, które traktujemy jak wydatki pewne otrzymuje się rozkład łącznych kosztów inwestycyjnych i kosztów wymian taśm i krążników, (Rys. 6b) o wartość inwestycji. Po uzupełnieniu tych danych o zaktualizowane koszty zużywanej energii (koszty te można wyznaczyć w oparciu o wyniki analiz oporów ruchu analizowanego przenośnika w programie QNKTT) można podać szacunkową wartość NPV (a właściwie rozkład NPV) zakupu i instalacji oraz użytkowania przenośnika w całym okresie planowanej jego eksploatacji. Koszt ten – jego wartość średnia – bliska jest 3 mln PLN, a więc jest na poziomie tylko nieco wyższym niż koszty otaśmowienia i wyposażenia trasy przenośnika w nowe krążniki górne i dolne.

Po dodaniu kosztów inwestycyjnych, które traktujemy jak wydatki pewne otrzymuje się rozkład łącznych kosztów inwestycyjnych i kosztów wymian taśm i krążników, (Rys. 6b) o wartość inwestycji. Po uzupełnieniu tych danych o zaktualizowane koszty zużywanej energii (koszty te można wyznaczyć w oparciu o wyniki analiz oporów ruchu analizowanego przenośnika w programie QNKTT) można podać szacun-

kową wartość NPV (a właściwie rozkład NPV) zakupu i instalacji oraz użytkowania przenośnika w całym okresie planowanej jego eksploatacji.



Rys. 6. Rozkład PV wymian wszystkich taśm i krążników oraz PV łącznych kosztów (inwest. i eksploat.)
Fig. 6. Distribution of PV of belts' and idlers' replacement costs and PV of all costs (capit. and operat.)

3. PODSUMOWANIE

Możliwość automatyzacji obliczeń, dostępna w arkuszu Excel, pozwala nie tylko na rozpatrzenie wielu wariantów rozwiązań, lecz i na elementy optymalizacji doboru parametrów przenośników do zadań transportowych z wykorzystaniem analizy ich kosztów oraz testowanie różnych strategii wymian taśm [12] lub krążników. Warto bowiem prowadzić takie analizy [14].

Oczywiście zaprezentowana tu metoda szacowania kosztów nie jest doskonała. Wymaga dopracowania – zwłaszcza w zakresie powiązania parametrów rozkładów czasu pracy taśm i krążników z parametrami przenośnika oraz automatyzacji obliczeń i ich optymalizacji. Niemniej już teraz stanowi dobre narzędzie do szacowania wariantowych kosztów różnych rozwiązań. Model ten można nadal rozszerzać. Ciekawym kierunkiem badań mogłaby być analiza rozkładu częstości wymian taśm i krążników w czasie, co pozwoliłoby na lepsze planowanie wymian taśm i krążników oraz planowanie ich stanów magazynowych.

LITERATURA

- [1] GŁADYSIEWICZ L., 2003. *Przenośniki taśmowe: Teoria i obliczenia*. w: Oficyna Wydaw. PWroc., 2003. s. 315.
- [2] GŁADYSIEWICZ L., JURDZIAK L., 1996. *Wpływ zastosowania taśmowych napędów pośrednich na obniżenie kosztów eksploatacji przenośników w kopalniach rud miedzi*. w: Prace Naukowe Instytutu Górnictwa P.Wr. Nr 80, Seria: Konferencje Nr 20, Podstawowe Problemy Transportu Kopalnianego Wrocław.
- [3] GŁADYSIEWICZ L., KAWALEC W., 2006. *Optimised selection of a belt conveyor loaded by a BWE*. w: Continuous surface mining. 8th International symposium. ISCSM 2006. Proceedings,

- Aachen, September 24th–27th, Aachen: Mainz, 353–357.
- [4] GŁADYSIEWICZ L., KRÓL R., 2005. *Modernisierung der Tragrollen zur Verringerung des Tragrollenlaufwiderstands*. w: Neue Trends in der Anlagenentwicklung. 10. Fachtagung Schuetttgutfoerdertechnik. Magdeburg, Magdeburg: LOGiSCH, cop., pp. 249–262
- [5] JURDZIAK L., 1987. *Statystyczna identyfikacja przyczyn różnicowania się trwałości taśm przenośnikowych w ZG "RUDNA"*. w: Cuprum, nr 3–4.
- [6] JURDZIAK L., 1988a. *Określenie wpływu długości przenośnika na trwałość taśm przenośnikowych w kopalni podziemnej*. w: Prace Naukowe Instytutu Górnictwa P.Wr. nr 50, Seria: Konferencje Nr 11, Podstawowe Problemy Transportu Kopalnianego, Wrocław.
- [7] JURDZIAK L., 1988b. *Proces wymian odcinków taśm w kopalniach rud miedzi jako superpozycja ogólnych procesów odnowy*, w: Cuprum Nr 1 1988.
- [8] JURDZIAK L., 1989. *Określenie rozkładów prawdopodobnej liczby cykli taśmy wokół przenośnika na podstawie danych eksploatacyjnych*. w: Wiadomości Górnicze nr 1.
- [9] JURDZIAK L., 1996. *Metoda określenia rozkładu czasu pracy taśmy przenośnikowej i jego wykorzystania do prognozowania wymian taśm*, w: praca doktorska (niepub.), Politechnika Wrocławska.
- [10] JURDZIAK L., 1999a. *Niektóre możliwości obniżenia kosztów transportu taśmowego na skutek zwiększenia trwałości taśmy*. w: *Ekonomia, organizacja, zarządzanie i marketing w przemyśle wydobywczym*. w: Szkoła Ekonomiki i Zarządzania w Górnictwie '99, Ustroń, 15–17 września. Fundacja Nauka i Tradycja Górnictwa. Wyd. AGH, 197–210.
- [11] JURDZIAK L., 1999b. *Wpływ zmian trwałości taśm na koszty eksploatacji przenośników*. *Wiadomości Górnicze* vol. 50, nr 10, 424–431.
- [12] JURDZIAK L., 2000. *Prewencyjne strategie wymian taśm przenośnikowych*. w: *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, Podstawowe problemy transportu kopalnianego. XIII Szkoła Jesienna, Wrocław, 13–15 września, Oficyna Wydaw. PWroc., 123–143.
- [13] JURDZIAK L., 2002. *Metody oceny opłacalności zakupu, eksploatacji i wymiany krążników*, w: *Transport Przemysłowy* Nr 4.
- [14] JURDZIAK L., 2003. *Dlaczego warto prowadzić analizy ekonomiczne eksploatacji maszyn i urządzeń, badać niezawodność i diagnozować ich stan?* w: *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*. Seria nr 105. Aktualia i perspektywy górnictwa, Wrocław, 7–8 listopada, Wrocław, Oficyna Wydaw. PWr., 73–86.
- [15] Jurdziak L., 2004. *Aspekty ekonomiczne użytkowania krążników*. w: *Konferencja ZPR KWB „Bełchatów” S.A. „Nowoczesność w budowie maszyn i urządzeń górnictwa odkrywkowego”*, Bełchatów, 22–24 październik.
- [16] JURDZIAK L., HARDYGÓRA M., 1995. *Determination of the distribution function of conveyor belt operating time based on the belt model*, w: *Proceedings of the Fourth International Symposium On Mine Planing and Equipment Selection*, Calgary, Canada 31. Oct. – 3. Nov. 1995, Balkema.
- [17] JURDZIAK L., HARDYGÓRA M., 1996a. *Określenie wpływu długości pętli taśmy przenośnikowej na czas jej zdatności*. w: *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr. Nr 80, Seria: Konferencje Nr 20, Podstawowe Problemy Transportu Kopalnianego* Wrocław.
- [18] JURDZIAK L., HARDYGÓRA M., 1996b. *Wykorzystanie metody Monte Carlo do prognozowania wymian taśm na przenośnikach*, w: *II Międzynarodowy Kongres „Górnictwo Węgla Brunatnego”*, Wrocław 26–29 czerwca.
- [19] JURDZIAK L., HARDYGÓRA M., 1998. *Określenie wpływu obciążenia przenośnika na trwałość taśmy*. w: *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa P.Wr. Nr 83, Seria: Konferencje Nr 22, Podstawowe Problemy Transportu Kopalnianego*, Wrocław.
- [20] JURDZIAK L., HARDYGÓRA M., 2000. *The effect of conveyor belt load upon belt durability*. w: *Proceedings of the Ninth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, Athens, 6–9 November, Ed. by G. N. Panagiotou & T. N. Michalakopoulos. Rotterdam; Brookfield: A.A.Balkema, 595–599.

- [21] JURDZIAK L., KAWALEC W., WAJDA A., 1985. *Ocena trwałości taśm przenośnikowych w kopalni węgla brunatnego „Bełchatów”*. w: Podstawowe problemy transportu kopalnianego, Szklarska Poręba, 18–20 września. w: Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej. Konferencje; nr 9, Serii gł. nr 45, 95–104.
- [22] JURDZIAK L., WAJDA A., 2001. *Próba oceny trwałości krążników nośnych w kopalniach węgla brunatnego*. w: Transport Przemysłowy Nr 1 (3).
- [23] KAWALEC W., KULINOWSKI P., 2007. *Obliczenia przenośników taśmowych metodą podstawową oraz oporów jednostkowych w zintegrowanym środowisku programowym*. w: Transport Przemysłowy nr 1, 6–11.

Artykuł powstał w ramach projektu celowego „Foresight” nr WKP_1/1.4.5/2/2006/4/7/585/2006 „Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywania i przetwórstwa węgla brunatnego” realizowanego przez konsorcjum firm koordynowanych przez IGO „Poltegor – Instytut”.

METHOD OF CAPITAL AND OPERATIONAL COST ESTIMATION OF BELT CONVEYORS

The method of variant capital and operational cost estimation of belt conveyors based on LCA (Life Cycle Analysis) with usage of Monte Carlo simulation of belt and idlers replacements for given distributions of their operational time is described. It is proposed to evaluate different variants of conveyors through comparison of sums of discounted costs for generated in Crystal Ball v.7.3 program stream of replacements of belts and idlers during the whole period of planned conveyor operation. Example calculation has been carried out for the hypothetical conveyor having the length 1000m. The method requires further development by addition of discounted costs of energy conveyor consumption and correlations among belt conveyor parameters and parameters of operational time distributions. Then it can be used by conveyor designers and users for comparison of different conveyor variants, optimisation of solutions, planning of conveyor maintenance expenses and optimisation of inventory policy.