

*wydajność chwilowa, strumień nosiwa, wydajność koparki,
wydajność przenośnika, model gaussowski, rozkład wydajności*

Leszek JURDZIAK*

REAKTYWACJA MODELU ROZKŁADU UROBKU NA TAŚMIE PRZENOŚNIKA

Przypomniano model Gładysza¹ (Gładysz, 1964) opisujący stochastyczny proces załadunku urobku na przenośnik przez koparkę kołową wraz z jego konsekwencjami dla rozkładu mas (objętości) na taśmie. Porównano z nim inne modele opisane w (Czaplicki, 1994) pokazując ich nadmierne uproszczenia i brak właściwego wykorzystania do doboru wydajności przenośnika. Zwrócono uwagę na dwumodalność rzeczywistego rozkładu mas oraz omówiono potencjalne przyczyny i konsekwencje. Podano przyczyny, dla których modelowanie rozkładu mas na taśmociągu nabiera znowu istotnego znaczenia dla transportu taśmowego.

1. MODEL GŁADYSZA¹ (Gładysz, 1964)

1.1. PROCES ZAŁADUNKU TAŚMY PRZEZ KOPARKĘ KOŁOWĄ

Gładysz zbudował model procesu załadunku urobku na taśmę przenośnikową. Przyjął, że koło czerpakowe koparki kołowej podaje urobek z poszczególnych koszy na taśmę ze stałą częstotliwością $1/v$ (gdzie v - frekwencja kopania). Pojemności wydobyte przez czerpaki $\{u_n\}$ można uznać za stacjonarny ciąg zmiennych losowych o stałej wartości oczekiwanej $E\{u_n\}$.

$$E\{u_1\} = E\{u_2\} = \dots = U = \text{const} \quad (1)$$

Funkcja korelacji tego procesu zależy tylko od k , a nie zależy od n .

$$r_u(n, n+k) = E\{(u_{n+k} - U)(u_n - U)\} = E\{u_{n+k} u_n\} - U^2 = r_u(k) \quad (2)$$

Przyjął również, że ciąg ten spełnia hipotezę ergodyczną, a wtedy istnieje średnia po czasie (wg zbieżności przeciętnej) i ma wartość stałą U , która jest właśnie wydajnością koparki.

* Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, pl. Teatralny 2, 50-051 Wrocław,
e-mail: leszek.jurdziak@pwr.wroc.pl

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{u_1 + u_2 + \dots + u_n}{n} = U \quad (3)$$

Rozkład zmiennej losowej u nie jest istotny. Można przyjąć, że jest to potencjalnie rozkład normalny, ograniczony, gdyż $0 \leq u \leq u_0$, gdzie u_0 to maksymalna pojemność czerpaka.

$$s = \frac{u_0 - m}{\sigma} \quad (4)$$

$$U = m - \Delta m = m - \sigma [s\Phi(s) + \varphi(s) - s] \quad (5)$$

gdzie:

$$\Delta m > 0, \quad \Delta m = \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}}, \quad \text{gdy } s=0 \quad \text{oraz} \quad \lim_{s \rightarrow \infty} \Delta m = 0$$

$\Phi(x)$ i $\varphi(x)$ – dystrybuanta i gęstość rozkładu normalnego o parametrach $m=0$ i $\sigma=1$.

Gdy koparka pracuje na pełnej wydajności tzn. $m=u_0$, to $s=0$ i

$$U = u_0 - \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \quad (6)$$

Wydajność koparki w znacznym stopniu zależy, więc od współczynnika zmienności σ/m , którego odwrotność $\lambda=m/\sigma$ nazwano **współczynnikiem równomierności pracy koparki**. Im większą wartość ma współczynnik λ , tym lepiej pracuje koparka.

1.2 PROCES ROZPULCHNIANIA I ZMIAN OBJĘTOŚCI UROBKU NA TAŚMIE

Urobek wysypywany z czerpaka na taśmę ulega rozpulchnieniu. Na taśmie pojawiają się więc nie objętości u_1, u_2, \dots lecz $w_1 = \vartheta_1 u_1, w_2 = \vartheta_2 u_2, \dots$

Założono stochastyczną niezależność chwilowych wartości procesów $\{u_n\}$ i $\{\vartheta_n\}$. Nie oznacza to jednak, że brak jest związków pomiędzy ich wartościami średnimi, czy dyspersjami.

$$W_k = E\{w_k\} = E\{\vartheta_k u_k\} = E\{\vartheta_k\} E\{u_k\} = W = KU = \text{const} \quad (7)$$

Funkcja korelacji procesu rozpulchniania $\{\vartheta_k\}$ nie zależy od n , lecz jedynie od k i wynosi:

$$r_\vartheta(n, n+k) = E\{(\vartheta_{n+k} - W)(\vartheta_n - W)\} = E\{\vartheta_{n+k} \vartheta_n\} - K^2 = r_\vartheta(k) \quad (8)$$

Ze stacjonarności procesów składowych wywiedziono, że proces $\{w_k\}$ również jest procesem stacjonarnym.

$$r_w(n, n+k) = E\{(w_{n+k} - W)(w_n - W)\} = r_g(k)r_u(k) + K^2 r_u(k) + U^2 r_g(k) \quad (9)$$

Znając frekwencję kopania v i prędkość taśmy c oraz współczynnik rozpulchnienia \mathcal{G} gruntu można zamienić objętość czerpaka u_n na objętość urobku na taśmie v_n .

$$v_n = \frac{v}{c} \mathcal{G}_k u_k \quad (10)$$

$$V = E\{v(t)\} = \frac{v}{c} KU \quad (11)$$

$$r_v(kt_0) = (v/c)^2 [r_g(k)r_u(k) + K^2 r_u(k) + U^2 r_g(k)] \quad (12)$$

W szczególności, gdy funkcje korelacji r_g i r_u są wykładnicze (13 i 14):

$$r_g(k) = r_g(0) e^{-k\alpha} = \sigma_g^2 e^{-k\alpha}, \quad \alpha > 0 \quad (13)$$

$$r_u(k) = r_u(0) e^{-k\beta} = \sigma_u^2 e^{-k\beta}, \quad \beta > 0 \quad (14)$$

$$r_v(k) = r_v(kt_0) = (v/c)^2 [\sigma_g^2 \sigma_u^2 e^{-k(\alpha+\beta)} + U^2 \sigma_g^2 e^{-k\alpha} + K^2 \sigma_u^2 e^{-k\beta}] \quad (15)$$

$$\sigma_v^2 = r_v(0) = (v/c)^2 [\sigma_g^2 \sigma_u^2 + U^2 \sigma_g^2 + K^2 \sigma_u^2] \quad (16)$$

1.3 GRANICZNY ROZKŁAD OBJĘTOŚCI UROBKU NA TAŚMIE

Gładysz założył, że proces przepływu masy (objętości) urobku na taśmie jest procesem ściśle stacjonarnym o ograniczonej pamięci. Procesy tego typu noszą nawet procesów Markowa –Brunsa lub wielowymiarowych łańcuchów Markowa.

Założenie ograniczonej pamięci oznacza, że zachowanie się procesu w przyszłości zależy co prawda od przeszłości, ale tylko do ograniczonego czasu N .

Procesy tego typu posiadają bardzo ważną własność – spełniają asymptotycznie centralne twierdzenie graniczne. Oznacza to, istnienie granicy

$$\sigma_1^2 = \lim_{s \rightarrow \infty} E \left\{ \left[\frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{k=1}^n (w_k - w) \right]^2 \right\} \quad (17)$$

i jednostajnej wobec λ granicy prawdopodobieństwa:

$$\lim_{s \rightarrow \infty} \Pr \left\{ \frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{k=1}^n (w_k - w) \leq \lambda \right\} = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\lambda} e^{-\frac{\xi^2}{2\sigma_1^2}} d\xi \quad (18)$$

Inaczej mówiąc zmienne losowe $\frac{1}{\sqrt{n}} \sum_{k=1}^n (w_k - w)$ posiadają w granicy rozkład normalny o średniej zero i dyspersji σ_1^2 .

Jej wartość można obliczyć z wyprowadzonego wzoru:

$$\sigma_1^2 = \sigma_w^2 + 2 \sum_{k=1}^n r_w(k) - 2 \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n k r_w(k) \quad (19)$$

Gdy $k r_w(k) \rightarrow 0$, co ma miejsce np. wtedy, gdy funkcja korelacji jest wykładnicza (tzn. $r(k) = \sigma^2 e^{-k\gamma}$, $\gamma > 0$) wzór (18) można przekształcić (Gładysz, 1964):

$$\sigma_1^2 = \sigma_9^2 \sigma_u^2 \operatorname{cth}((\alpha + \beta)/2) + U^2 \sigma_9^2 \operatorname{cth}(\alpha/2) + K^2 \sigma_u^2 \operatorname{cth}(\beta/2) \quad (20)$$

Po uproszczeniu wynikającego z faktu, że $0 < \alpha, \beta \ll 1$ (dla małych x , $\operatorname{cth}(x) = 1/x$):

$$\sigma_1^2 = 2[\sigma_9^2 \sigma_u^2 / (\alpha + \beta) + U^2 \sigma_9^2 / \alpha + K^2 \sigma_u^2 / \beta] \quad (21)$$

1.4. PRAKTYCZNE REZULTATY PRACY GŁADYSZA

Omówiony model załadunku taśmy urobkiem stanowił zaledwie punkt wyjścia do rozwiązania istotnych zagadnień związanych pojawianiem się przesywania urobku. Gładysz wyznaczył czas trwania, wielkość i frekwencję przesywania się urobku na przenośniku odbierającym i zbiorczym oraz w kosztach zasypowych. Powiązał je z parametrami koparki (objętością koszy, frekwencją wysypów, założoną wydajnością pracy i dyspersją oraz współczynnikiem równomierności pracy), przenośnika (prędkością i wydajnością) oraz urobku (rozpulchnieniem i jego dyspersją). Uzyskane wzory pozwoliły na właściwe wymiarowanie układów koparka-przenośniki oraz analizę wrażliwości wielkości przesywów na zmianę jego parametrów. Przeprowadzone przykładowe obliczenia wskazały na kluczowe znaczenie współczynnika równomierności pracy koparki. Poprawa tego współczynnika o 20% dla przykładowych danych zmniejszała wielkość przesywującego się urobku nawet o 60%.

Gładysz przeprowadził też weryfikację modelu dla danych z KWB „Turów”. W lipcu i sierpniu 1963 oszacowano wizualnie rozkład urobku na taśmie przenośnika, odnotowując w odstępach 5 sekundowych (co 16,75 m) stopień wypełnienia przekroju taśmy w skali od 1 do 5. Przeprowadzony test chi-kwadrat zgromadzonych danych na poziomie istotności 0,05 nie dał podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu masy/objętości na taśmociągu. Na podstawie obliczonych parametrów zbiorczych strumieni nosiwa (1-5 koparek SchRs1200) wyznaczono szereg granicznych wydajności przenośników zbiorczych zapewniających różne, dopuszczalne poziomy przesywania się urobku.

Niestety brak miejsca nie pozwala na szersze przedstawienie tych, jak dalej się okaże, nadal ważnych i aktualnych, wyników obliczeń i badań empirycznych.

2. INNE MODELE STRUMIENIA UROBKU

Inni autorzy piszący o doborze wydajności, czy modelowaniu strumienia urobku na taśmie o pracach Gładysza nawet nie słyszeli. Przykładowo w pracy (Czaplicki, 1994) autor przedstawił krytyczny przegląd krajowych i zagranicznych modeli opisujących strumień nosiwa płynącego przez przenośniki taśmowe wskazując na niezgodności i sprzeczności pomiędzy nimi. Na podstawie badań eksploatacyjnych, jak twierdzili różni autorzy, przyjmowano, że strumień ten jest stacjonarnym i gaussowskim procesem stochastycznym. Nikt jednak nie przedstawił wyników badań statystycznych wskazujących na brak podstaw do odrzucenia lub odrzucających taką hipotezę. Nikt też, poza nim, nie badał też autokorelacji tego procesu. W żadnym ze wzorów analitycznych modelujących strumień masy nie uwzględniono też cykliczności wynikającej ze zmianowego charakteru pracy oraz pojawiania się stanów: praca - naprawa.

Gładysz przyjął, że proces ten jest stacjonarny i ergodyczny, a normalności rozkładu nie traktował jako konieczności. Rezultaty oparł bowiem na asymptotycznych własnościach rozkładu granicznego. Do obliczeń przyjął wprawdzie normalność tego rozkładu starał się jednak zweryfikować go statystycznie. Cykliczność zmianowa, czy awarie i przestoje systemu urabiająco - transportującego nie mają wpływu na rozkład wydajności chwilowych przenośników w okresie ich efektywnej pracy. Istotne są więc jedynie dla analizy łącznej wydajności systemu osiąganey w dłuższych okresach np. miesięcznych lub rocznych. Wprowadzenie tej problematyki do analizy rozkładu mas, czy wydajności maksymalnych wydaje się więc niecelowe i spowodowało niepotrzebne zamieszanie.

Czaplicki bardzo krytycznie odniósł się też do powszechnej praktyki posługiwania się w modelach rozkładem normalnym strumienia masy zamiast rozkładem normalnym uciętym z dołu i góry. Na dowód tego przedstawił obliczone błędy wynikające z takiego podejścia. Wartości średnie i odchylenia przeciętne dla rozkładu uciętego (bliższego rzeczywistym strumieniom) są zawsze niższe od teoretycznych (bez ucięcia). Wykazał, że dla wartości średnich błędy mogą sięgać kilkunastu procent, a dla odchylenia nawet kilkudziesięciu procent.

Oczywiście autora ten ma całkowitą słuszność. Jasne jest, że strumień mas/objętości musi być ucięty od góry maksymalną możliwą do osiągnięcia fizyczną wydajnością koparki oraz od dołu zerem (nie ma bowiem ujemnych wydajności, gdy przenośnik nie jest rewersyjny). Posługiwanie się pełnym rozkładem Gaussa będzie więc prowadzić do przewymiarowania przenośników - zarówno, szerokości taśmy jak i mocy napędu, co jest istotne w świetle współczesnych potrzeb (por. rozdz.3).

Czaplicki nie ma jednak racji, że brak uwzględniania ucięcia rozkładu jest nagminną praktyką. Gładysz już w 1964 roku zwrócił na to uwagę i w swoim

modelu zastosował rozkład ucięty. Na usprawiedliwienie braku znajomości tej pracy może posłużyć fakt, że jest ona obecnie praktycznie niedostępna.

Osobnym problemem, który się pojawia przy modelowaniu strumienia masy nosiwa na taśmociągu, i na co za Żurem (Żur, 1979, Żur i Hardygóra, 1996) zwrócił uwagę Czaplicki, jest sama zasadność posługiwania się rozkładem normalnym. Według Żura „rozpatrywany proces określający zmienność natężenia przepływu składa się raczej z dwóch procesów podstawowych, z których pierwszy osiąga maksimum w pobliżu wydajności równej zero, co odpowiada pracy przenośnika nie załadowanego, a drugi przyjmuje wartości większe, skupione wokół maksimum odpowiadającego warunkom pracy przenośnika załadowanego”.

Gdyby rzeczywiście, jak zakładał Żur i Czaplicki dwumodalność rozkładu wydajności chwilowych przenośnika spowodowana była wyłącznie różnego rodzaju postojami koparek z powodu: awarii, przestojów technologicznych, przzerwania prac w zabierce itp., a rozkład wydajności w okresie pracy był normalny, to model Gładysza nie wymagałby modyfikacji, a wyniki jego prac mogłyby być bezpośrednio wykorzystane do wymiarowania przenośników (m.in. doboru mocy napędu, por. rozdz.3). Niestety wstępne analizy strumienia wydajności i pracy koparek kołowych wskazują, że chwilowe spadki wydajności (nawet do zera) pojawiają się w punktach nawrotu koła koparki przy cyklicznym ruchu całego ramienia w poziomie (od lewej strony do prawej) oraz dłuższe przerwy podawania (nawet paru minut) przy ruchach manewrowych koparki (do przodu i tyłu) związanych ze zmianą poziomu urabianego pasa. Dwumodalność tego rozkładu jest więc immanentną cechą technologiczną sposobu urabiania zabierek (prawdopodobnie nie pojawi się przy eksploatacji ścianowej) i stylu pracy operatora (chwilowych spadków można prawdopodobnie uniknąć poprzez przesunięcie koparki do przodu przy wychodzeniu koła z pasa). Taki charakter pracy przewidywał Żur pisząc w (Żur, 1979): „gdy urobek podawany jest na przenośnik koparką kołową, wówczas występują regularne okresowe zmiany natężenia przepływu, odpowiadające technologicznemu rytmowi pracy koparki”. Istnienie takich zmian znacznie komplikuje analizy i utrudnia bezpośrednie wykorzystanie prac Gładysza w analizowanych obecnie zagadnieniach (por. rozdz.3).

Interesujące są też rozważania Czaplickiego dotyczące wydajności maksymalnej strumienia urobku i dopasowania do niej wydajności przenośnika. Kwestionuje on pogląd, że przenośnik powinien być zawsze dostosowany do maksymalnej wydajności urządzeń technologicznych przez niego obsługiwanych i proponuje wykorzystanie do tego doboru metod probabilistycznych, co jest słuszne.

Analizując różne propozycje: R.Ubermana (22) z Poradnika Górnika, Franasika i Żura (23) oraz Antoniaka (24), zaproponował własne rozwiązanie (25).

(22)	(23)	(24)	(25)
$Q_{sz} = 2.4Q_e$	$Q_{mx} = m + v$	$Q_{mx} = m + \xi v$	$Q_{mx} = m + 2v$

gdzie: Q_{sz} – wydajność szczytowa przenośnika (tożsama z maksymalną),
 Q_e – wydajność efektywna przenośnika,
 Q_{mx} – wydajność maksymalna przenośnika,
 m – wartość średnia,
 v – odchylenie standardowe,
 ξ – kwantyl odpowiedniego rzędu rozkładu normalnego $N(0,1)$.

Swoją propozycję (25) uznał za lepszą niż (23), gdyż w tym przypadku aż 16% nadawy z koparki może nie zostać przeniesione przez przenośnik, co stanowi zbyt dużą stratę. W jego wersji jedynie ok. 2% może zostać nie przeniesione, co i tak jest mocniejszym wymaganiem niż 5% sformułowanym w pracy (Franasik i Żur, 1979).

Propozycja Czaplickiego (25), w gruncie rzeczy, nie różni się niczym od pozostałych. Jest tak samo arbitralna, gdyż nie stoją za nią żadne logiczne wywody poza dyskusją o samych procentach. Dodatkowo jej słusność ograniczona jest wyłącznie dla rozkładu normalnego, gdyż tylko dla niego wartość $m+2v$ odpowiada kwantylowi rzędu 98%. Dla innych rozkładów może zasadniczo odbiegać od tej wartości. W świetle wątpliwości, co do „normalności” rozkładu mas na taśmociągu lepiej więc wprost zaproponować jako Q_{mx} kwantyl rzędu 98% dla empirycznej dystrybuanty wydajności chwilowych – niezależnie jaki by ten rozkład nie był. Wtedy zawsze ok. 2% podawanego urobku może nie zostać przejęta przez taśmę przenośnika. Również sam wybór kwantyla stosownego rzędu nie powinien być arbitralny, lecz zostać poparty rachunkiem ekonomicznym prowadzącym do minimalizacji łącznych strat przesypującego się urobku i kosztów jego usunięcia (malejących przy wzroście kwantyla) oraz dodatkowych kosztów wynikających z przewymiarowania przenośnika mającego przejąć coraz większą część podawanego urobku. Rosną bowiem koszty inwestycyjne i eksploatacyjne – m.in. z uwagi na to, że szersza taśma jest droższa i cięższa, co zwiększa zużycie energii. Z pewnością warto też skorzystać z wyników prac Gładysza w zakresie analizy przesypania się urobku i wymiarowania układów koparek i przenośników. Rozwiązywaniu takich zadań służyć ma właśnie realizowany przez Gładysiewicza i Zakład Systemów Maszynowych Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej grant badawczy Nr 4 T12A 02227 „Optymalizacja przenośnika taśmowego”.

3. ROZKŁAD MAS NA TAŚMIĘ - REAKTYWACJA

Obecnie problematyka rozkładu mas na taśmociągu wraca ponownie w związku z racjonalizacją zużycia energii oraz optymalizacją konstrukcji przenośników. W pracy (Scheffzyk i Jahn, 2004) wskazano, że w łżyckich kopalniach węgla brunatnego należących do koncernu Vattenfall Mining AG transport taśmowy pochłania 69% zużywanej w nich energii elektrycznej. Strumień urobku wychodzący

z koparki charakteryzuje się dużą zmiennością losową. Dobierając do zmiennej wydajności koparki wydajność przenośnika ze stałą prędkością, należy zadbać o możliwość przeniesienia wydajności szczytowych. Oznacza to, że zdolność transportowa przenośnika nie może być w pełni wykorzystana. Przy wydajności koparki osiągającej w skali rocznej 50-60% wydajności teoretycznej, z chwilowymi wydajnościami szczytowymi na poziomie do 135%, przenośnik z nieregulowaną prędkością jest wykorzystany zaledwie w 40-55%, co jest przyczyną wymiernych strat energii. Jednym z możliwych rozwiązań jest wprowadzenie przenośników ze zmienną prędkością dopasowywaną do aktualnego poziomu wydajności chwilowej koparki, co uczyniono w kopalniach łuzyckich. Są również i inne, tańsze rozwiązania. Prace nad nimi podjęto również w Polsce.

Przegląd dokonań w zakresie uwzględnienia losowej zmienności obciążeń przenośników przy ich obliczeniach i doborze, zalecenia przy ich projektowaniu oraz program badawczy na przyszłość sformułowano w pracy (Żur, 1997).

W pracy (Gładysiewicz i Kawalec, 1998) zwrócono uwagę, że przenośniki w górnictwie odkrywkowym węgla brunatnego są przewymiarowane, przez co wprawdzie lepiej zabezpieczają wydajność szczytową koparki, lecz i ukrywają błędy eksploatacji (np. zbieganie taśmy). Przeprowadzone szczegółowe obliczenia wykazały, że optymalizacja konstrukcji przenośnika pod kątem jednostkowego poboru mocy prowadzi do doboru przenośników o węższej taśmie i o mniejszej wytrzymałości. Postulowano w niej by ze względu na znaczne oszczędności inwestycyjne i eksploatacyjne dla nowych i modernizowanych systemów transportowych rozważyć możliwość zastosowania w nich przenośników o mniejszych niż dotychczasowe rezerwach eksploatacyjnych.

Jednym z kierunków zmniejszania mocy napędu przenośnika wskazanych w pracy (Gładysiewicz i Kawalec, 2002) jest lepszy dobór parametrów przenośnika do wydajności maszyn z nimi współpracujących. Ma to zwłaszcza znaczenie dla przenośników długich. Oczywiście korzyści wynikające ze zwiększenia trwałości taśmy oraz redukcji mocy napędów na skutek likwidacji zjawiska przesypywania się urobku (m.in. z uwagi na wyeliminowanie oporów przyspieszania urobku i jego podnoszenia, Gładysiewicz i Jurdziak, 1996) są dyskontowane w naturalny sposób. Po zbudowaniu długiego przenośnika trwałość taśmy po prostu wzrasta, przyczyniając się do obniżenia kosztów eksploatacji. Podobnie ma się sprawa z wyeliminowaniem oporów w miejscach podawania urobku. Pozostaje jednak nadal niewykorzystany potencjał oszczędności z dalszego obniżenia mocy napędów ukryty w nierównomiernym załadunku taśmy na trasie przenośnika - mniejszą sumaryczną masą urobku na taśmie niż się zazwyczaj przyjmuje w obliczeniach. Związane jest to z losowymi zmianami natężenia strumienia urobku podawanego z koparki na przenośnik. Zwrócono na to uwagę w pracy (Żur, 1998) w której na bazie doświadczeń światowych przy budowie i eksploatacji długich przenośników wskazano m.in. na konieczność uwzględnienia przy projektowaniu długich

przenośników dla polskiego górnictwa losowej zmienności rozkładu nosiwa na taśmie i związanego z tym losowego rozkładu obciążeń przenośnika. Pierwsze prace w tym kierunku już podjęto pod kierunkiem Gładysiewicza. W pracy (Olejnik, 2004) analizowano m.in. wpływ wzrostu długości przenośników na zmianę kształtu dystrybuanty empirycznej średniej wydajności przenośnika. Wyznaczone 95% kwantyle średnich wydajności przenośnika o różnych długościach wskazują, że lepiej dopasowując moc napędu można uzyskać znaczące oszczędności. Przykładowo różnice pomiędzy kwantylami 95% wydajności chwilowej koparki i średniej wydajności przenośnika o długości 5 km sięgają 18,1%.

4. WNIOSKI

Jak widać analiza rozkładu mas lub objętości na taśmociągu, czy też rozkładu chwilowych wydajności przenośnika (można te pojęcia stosować zamiennie z uwagi na proste przeliczenia pomiędzy nimi) ponownie nabrały znaczenia. Konieczność racjonalizacji kosztów w kopalni wymuszana jest postępującą liberalizacją rynku energii elektrycznej i koniecznością konkurencji nie tylko z krajowymi kopalniami węgla i związanymi z nimi elektrowniami, lecz również z wszystkim dostawcami energii na całym rynku europejskim. Oznacza to poszukiwanie źródeł oszczędności i konieczność sięgania po metody optymalizacji w każdym obszarze działania kopalni – również w transporcie nadkładu i węgla. Tym bardziej, że aż 69% procent zużywanej w kopalni energii elektrycznej pochłania właśnie transport taśmowy.

Warto więc ponownie przeanalizować proces załadunku przenośników i przetestować dotychczasowe rozwiązania i modele, w tym model Gładysza. Obecnie możliwości obliczeniowe znacznie wzrosły i dostępne są różne programy do zaawansowanych analiz statystycznych i badania szeregów czasowych. Kopalnie dysponują też znacznie większą ilością dokładnych danych empirycznych dzięki zamontowaniu na trasach transportowych wielu czujników i wag rejestrujących na bieżąco proces przepływu objętości i mas urobku.

Dane te nie są jednak w pełni wykorzystywane. Poza sporządzaniem zbiorczych zestawień dotyczących wydajności okresowych (zmianowej, dziennej, miesięcznej, czy rocznej) nie są poddawane dalszej analizie, choć stanowią źródło cennych informacji. Można bowiem nie tylko zbadać charakter procesu podawania urobku z koparki na taśmę i wykorzystać go do wymiarowania przenośników np. optymalizacji doboru parametrów przenośników do potrzeb (dobór szerokości i prędkości taśmy oraz mocy napędów), lecz również przeanalizować styl pracy poszczególnych operatorów i wykorzystać te dane np. w trakcie szkoleń. Badania tego typu prowadzono w Australii, gdzie analizowano styl prac operatorów koparek łyżkowych (Widzyk-Capehart i in., 2004). Ich wyniki istotnie poprawiły proces samych szkoleń i wydajność pracy oraz zmniejszyły przestoje awaryjne. Wstępne

badania strumienia wydajności chwilowych koparek wskazują, że również w przypadku koparek kołowych styl pracy operatora może mieć istotny wpływ na charakter strumienia wydajności, a zatem i na osiągnięte rezultaty i koszty. Można również znacznie dokładniej przeanalizować wpływ charakteru urobku i jego własności na wynikowy strumień wydajności.

Praca powstała w ramach projektu badawczego MENiS Nr 4 T12A 02227 „Optymalizacja przenośnika taśmowego”.

¹ Prof. Stanisław Gładysz (1920-2001) – matematyk, który specjalizował się w teorii ergodycznej oraz procesach stochastycznych. Animator Studium Podstawowych Problemów Techniki, inicjator i współtwórca Wydziału Podstawowych Problemów Techniki i Instytutu Matematyki oraz nowego kierunku kształcenia w zakresie matematyki stosowanej na Politechnice Wrocławskiej. Ceniony za istotny wkład w zakresie zastosowań matematyki w górnictwie w tym m.in. analizę niezawodności układów transportowych i przypomniane tu modelowanie rozkładu urobku na taśmociągach.

LITERATURA

- CZAPLICKI J.M., *Uwagi krytyczne o modelowaniu analitycznym strumienia nosiwa na przenośniku*. X Szkoła Jesienna - Podstawowe Problemy Transportu Kopalnianego. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 75, Konferencje Nr 17, Wrocław 1994.
- FRANASIK K., ŻUR T., *Urządzenia transportowe w górnictwie. Część I. Systemy transportowe*. Skrypt Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1979.
- GLADYSIEWICZ L., JURDZIAK L., *Wpływ zastosowania taśmowych napędów pośrednich na obniżenie kosztów eksploatacji przenośników w kopalniach rud miedzi*. XI Szkoła Jesienna - Podstawowe Problemy Transportu Kopalnianego. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 80, Konferencje Nr 20, Wrocław 1996.
- GLADYSIEWICZ L., KAWALEC W., *Optymalizacja parametrów konstrukcyjnych przenośnika taśmowego dla zadanej wydajności*. XII Szkoła Jesienna - Podstawowe Problemy Transportu Kopalnianego. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 83, Konferencje Nr 22, Wrocław 1998.
- GLADYSIEWICZ L., KAWALEC W., *Możliwości zmniejszenia mocy napędu przenośników taśmowych w kopalni węgla brunatnego*. III Międzynarodowy Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 98, Konferencje Nr 34, Wrocław 2002.
- GLADYSZ S., *Analiza statystyczna nieregularności rozkładu mas na taśmociągach i zwalówkach obsługujących układ koparek i taśmociągów*. Prace Naukowe Katedry Matematyki Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1964 (nie była opublikowana).
- OLEJNIK M., *Koncepcja transportu taśmowego węgla brunatnego z odkrywki Szczerców do elektrowni „Belchatów”*. Praca magisterska, Politechnika Wrocławska 2004.
- SCHEFFZYK P., JAHN W., *Nowoczesna technika napędów przenośników taśmowych*. Transport Przemysłowy Nr 3(17)/2004.
- WIDZYK-CAPEHART E., McDONALD A., *Rope shovel productivity improvements – site trials experimental design*. MPES, Taylor & Francis Group 2004.
- ŻUR T., *Modele obliczeniowe przenośników taśmowych uwzględniające losową zmienność obciążenia*. V Międzynarodowe Sympozjum „Nowe kierunki i doświadczenia w zakresie budowy i eksploatacji taśm transporterowych i urządzeń z nimi współpracujących”, FTT Stomil Wolbrom, Ustroń 1997.

ŻUR T., *Projektowanie długich przenośników taśmowych dla nowych i modernizowanych systemów transportowych uruchamianych z początkiem XXI wieku*. XII Szkoła Jesienna - Podstawowe Problemy Transportu Kopalnianego. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 83, Konferencje Nr 22, Wrocław 1998.

ŻUR T., *Przenośniki taśmowe w górnictwie*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1979.

ŻUR T., HARDYGÓRA M., *Przenośniki taśmowe w górnictwie*. „Śląsk”. Katowice 1996.

*passing capacity, stream of mass, bucket wheel capacity,
conveyor capacity, Gauss model, capacity distribution*

REACTIVATION OF THE MODEL OF MASS DISTRIBUTION ON CONVEYOR BELT

The Gładysz's model (Gładysz, 1964) describing the stochastic process of BWE conveyor loading has been reminded together with its consequences on mass (volume) distribution on conveyor belt. Other models described in (Czaplicki, 1994) have been compared with it showing their over simplicity and lack of proper usage for selection of conveyor capacity. The attention has been focused on two-modal real distribution of mass and potential causes and consequences have been discussed. New reasons why modeling of mass distribution on conveyor has become once more important for belt conveyor transportation have been presented.