

Received: 04.07.2014, accepted: 29.07.2014

*etykiety efektywności energetycznej,
metoda oporów jednostkowych,
opór toczenia taśmy,
jednostkowe zużycie energii na przenośniku*

Witold KAWALEC¹, Dariusz WOŹNIAK^{1*}

ENERGOOSZCZĘDNOŚĆ OKŁADKI BIEŻNEJ TAŚMY PRZENOŚNIKOWEJ – WSTĘP DO NOWEJ KLASYFIKACJI TAŚM

Zgodnie z polityką ograniczania zużycia energii (i związanej z tym emisji CO₂), na rynku Unii Europejskiej od 1992 r. są stosowane etykiety efektywności energetycznej dla wielu wyrobów AGD. Koncepcja oznaczania etykietami energochłonności (A, B,...,G) obiektów zużywających energię została rozszerzona na samochody i budynki. Konieczność zwiększenia efektywności energetycznej dotyka też przemysł, toteż jest celowe by przystąpić do etykietowania energochłonności maszyn i urządzeń przemysłowych. Odstawa urobku w górnictwie zużywa do 50% łącznej energii systemu eksploatacji. Oprócz samochodów (które już częściowo podlegają klasyfikacji w zakresie energochłonności), podstawowym urządzeniem transportowym w górnictwie jest przenośnik taśmowy. Autorzy proponują zatem podjęcie prac nad opracowaniem i wprowadzeniem etykiet efektywności energetycznej dla przenośników pracujących w dużych systemach transportowych. W artykule przedstawiono wstępne koncepcje i wyniki oznaczenia energooszczędności taśm przenośnikowych w zależności od badanych parametrów okładki bieżnej taśmy. W obliczeniach przenośnika wykorzystano metodę oporów jednostkowych w programie *QNK-TT*.

1. WPROWADZENIE

Etykiety efektywności energetycznej od 20 lat są elementem standardowego oznakowania wyrobów AGD na rynku Unii Europejskiej (Dyrektywa, 1992). Ich wprowadzenie

¹ Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej

* Corresponding autor: dariusz.wozniak@pwr.edu.pl

dzenie jest elementem polityki „klimatycznej” UE („3×20”), mającej na celu skłonienie konsumentów do wybierania wyrobów o mniejszej konsumpcji energii. Niezależnie od oceny przesłanek i innych narzędzi owej polityki, dostarczenie klientowi informacji o efektywności energetycznej produktu wraz z konsekwentną promocją oszczędzania zużycia energii pierwotnej, przyniosło rzeczywisty postęp w tym zakresie, wyrażający się w sukcesywnym przesuwaniu się znakowanych nowych wyrobów z grup nieoszczędnych (G, F) do oszczędnych (A, A+, A++) (Waide, 2011). Kolorowe etykiety efektywności energetycznej silnie oddziałują na preferencje nabywców, mimo że nieraz różnica w cenie nowego „zielonego” (energooszczędnego) wyrobu i starszego „czerwonego” (o większym zużyciu energii) jest znacznie większa niż późniejsze oszczędności w rachunkach za energię elektryczną. Unijna koncepcja etykiet energetycznych przyjęła się też w innych krajach (m.in. w USA, Chinach, Indiach, Rosji i Brazylii). Wspólną cechą systemu etykiet jest unormowanie metod oznaczania efektywności energetycznej danych wyrobów i obowiązek dokonywania testów parametrów wg jednolitych zasad (Harrington, 2004; Raport, 2011). Dla różnych wyrobów nie wprowadzono uniwersalnej jednostki miary efektywności energetycznej tylko starano się zidentyfikować charakterystyczny wskaźnik energochłonności. Wskaźniki te zmieniały się na przestrzeni lat. Następuje stopniowe odejście od bezpośrednich wielkości fizycznych (np. w wypadku pralek do roku 2010 wskaźnikiem było zużycie energii w standardowym cyklu prania w przeliczeniu na masę wsadu, wyrażone w kWh/kg) do wskaźników pozwalających na porównanie danego produktu względem przyjętej wartości referencyjnej. Nietrudno zauważyć, że o ile wskaźniki podane w jednostkach fizycznych umożliwiają nabywcy oszacowanie faktycznego zużycia energii (z uwzględnieniem indywidualnych warunków eksploatacji), o tyle wskaźniki względnej jakości pozostawiają jedynie niemierzalną satysfakcję z nabycia „ekologicznego” produktu, co ma tę zaletę dla sprzedawcy, że nabywca nie jest w stanie zweryfikować faktycznej opłacalności takiego zakupu.

Zachęcenie powodzeniem polityki etykietowania wyrobów AGD, ustawodawcy UE zajęli się innymi obiektami, których użytkowanie wymaga znacznych ilości energii pierwotnej: samochodami (Dyrektywa, 1999; Rozporządzenie, 2009) i budynkami (Dyrektywa, 2002). Interesujący jest dotychczasowy stan prawny UE w zakresie oznaczania efektywności energetycznej samochodów. Warunki eksploatacji samochodów są znacznie bardziej zróżnicowane niż lodówek lub pralek a i sam wyrób jest daleko bardziej złożony. Ustawodawca UE zaproponował zatem dotychczas dwa, niezależne kryteria efektywności energetycznej. Jednym jest oficjalne zużycie paliwa w cyklu badawczym (jazda miejska, pozamiejska i mieszana) oraz emisja CO₂ w tym cyklu. Mimo że wiarygodność metody badawczej jest wątpliwa, co bywa przyczyną rozczarowań nabywców (parametry cyklu badawczego opracowano ponad 50 lat temu i nie obejmuje on np. jazdy autostradowej ani nie uwzględnia zróżnicowanych warunków pracy napędów hybrydowych, w dodatku pomiar odbywa się tylko na hamowni), wartości tak oznaczonej emisji CO₂ są użyte do etykietowania efektywności ener-

tycznej samochodów a ponadto w wielu krajach UE są podstawą do naliczania podatku. Ustawodawca UE wprowadził również etykiety efektywności energetycznej opon (Rozporządzenie, 2009; Raport, 2011). Opony, podzielone na 3 klasy (C1 – dla samochodów osobowych, C2 – dla samochodów ciężarowych małej ładowności oraz C3 – dla samochodów ciężarowych dużej ładowności), są badane w certyfikowanych laboratoriach, gdzie oznaczany jest ich opór toczenia w zależności od obciążenia, wyrażony w N/kN. Na podstawie badań wielu opon określono – podobnie jak w wypadku sprzętu AGD – grupy efektywności energetycznej A, B,..., G. Badania drogowe wykazały, że faktyczna różnica w eksploatacyjnym zużyciu paliwa pomiędzy oponami z grupy G (najgorsza) i A (najlepsza) dla samochodów osobowych wynosi ok. 0,6 l/100km, czyli ok. 6–8% całkowitego średniego zużycia paliwa.

Konieczność wprowadzania rozwiązań energooszczędnych w Unii Europejskiej odnosi się również do przemysłu, zwłaszcza jego szczególnie energochłonnych gałęzi, do których należy przemysł wydobywczy. Odstawa urobku pochłania do 50% łącznej energii zużywanej przez system eksploatacji górniczej. Oprócz samochodów (które już częściowo podlegają klasyfikacji w zakresie energochłonności), podstawowym urządzeniem transportowym w górnictwie jest przenośnik taśmowy. W publikacjach widoczny już jest ekologiczny aspekt energochłonności transportu taśmowego (van den Hondel, 2012). Autorzy proponują zatem podjęcie prac nad opracowaniem i wprowadzeniem etykiet efektywności energetycznej dla przenośników taśmowych pracujących w dużych systemach transportowych. Przedstawione wyżej uwagi o etykietach efektywności energetycznej dla sprzętu AGD i samochodów, w połączeniu z wiedzą na temat konstrukcji i eksploatacji przenośników taśmowych prowadzą do przyjęcia następujących przesłanek:

- Wskaźnik efektywności energetycznej (WEE) przenośników taśmowych (oraz wszelkich innych urządzeń przemysłowych) jest adresowany do szczególnego nabywcy – zawodowego użytkownika sprzętu technicznego, toteż powinien być wyrażony w jednostkach fizycznych, pozwalających na rzetelne obliczenie opłacalności zakupu produktów o danym WEE w porównaniu z innymi.
- Przenośniki taśmowe są składane z opcjonalnych podzespołów, które mają wpływ na zużycie energii. Celowe jest zatem wytypowanie podzespołów decydujących o efektywności energetycznej przenośnika i opracowanie dla nich WEE.
- Przenośniki są eksploatowane w bardzo zróżnicowanych warunkach. Użytkownik (projektant) danego przenośnika dysponuje największą wiedzą w tym zakresie i etykiety WEE dostarczą mu dodatkowych (dotychczas niedostępnych) informacji celem złożenia najlepszej konfiguracji przenośnika w danych warunkach.
- Propozycja WEE dla podzespołów przenośników taśmowych powinna być kompleksowa, tj. obejmująca zarówno wytypowanie mierzalnej wielkości przyjętej jako wskaźnik oraz metodę wiarygodnego oznaczania jego wartości.

2. KONCEPCJA WSKAŹNIKÓW EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ DLA PRZENOŚNIKÓW TAŚMOWYCH

Zagadnienia energochłonności transportu taśmowego były przedmiotem wielu publikacji. W monografii (Gładysiewicz, 2003) przedstawiono dokładne metody obliczeń oporów ruchu przenośnika taśmowego, oparte na analizie zjawisk przemian energii towarzyszących ruchowi taśmy załadowanej urobkiem po krążnikach oraz interakcji pomiędzy taśmą i krążnikami z uwzględnieniem wpływu parametrów taśmy, transportowanego materiału, danych konstrukcyjnych przenośnika oraz warunków eksploatacyjnych. Metody te zostały oprogramowane w autorskim algorytmie *Tasm-test* służącym m.in. do obliczeń jednostkowych oporów ruchu przenośników, zaimplementowanym ostatecznie w programie komputerowym *QNK-TT* do wspomagania projektowania przenośników (Kawalec & Kulinowski, 2007). Szeroki zestaw wprowadzanych danych tworzących obiektowy opis przenośnika oraz opcjonalnie wirtualne charakterystyki jego podzespołów (uzyskiwane np. w badaniach eksperymentalnych) umożliwiają analizowanie wpływu wielu czynników na obliczane explicite wartości składowych oporów ruchu (Gładysiewicz & Kawalec, 2002, 2011).

W artykule (Kulinowski i inni, 2013) autorzy podsumowali kluczowe kierunki doskonalenia efektywności energetycznej przenośnika taśmowego. Podkreślili konieczność zróżnicowanego podejścia do zagadnienia w wypadku przenośników krótkich, w których dominują opory skupione – lokalne (opory w punkcie nadawy urobku związane z przyspieszaniem urobku oraz jego tarcie o ograniczenia boczne, opory przeginania taśmy na bębnach i obracanie bębnów, opory pochodzące od urządzeń czyszczących taśmę i innych urządzeń specjalnych – zestawów centrujących taśmę, pługów, wózków zrzutowych) oraz długich, w których największe znaczenie mają opory główne – występujące wzdłuż całej trasy przenośnika: opory obracania krążników (przeciętnie ok. 10–25% całkowitych oporów ruchu), toczenia (40–50%), przeginania (10–15%) i ślizgania (5–15%) taśmy na krążnikach oraz falowania urobku (5–10%). Rozważanie te odnoszą się do przenośników poziomych lub bardzo łagodnie nachylnych, gdyż już dla kąta nachylenia trasy ok. 2° największą składową oporów ruchu jest niezależny od konstrukcji przenośnika opór podnoszenia urobku. Skupiając się na projektowaniu i wdrażaniu rozwiązań obniżających zapotrzebowanie przenośnika na energię mechaniczną nie należy także zapominać o sprawności układu napędowego, decydującej o konsumpcji energii elektrycznej, czyli o rachunku za energię zużytą do transportu urobku przenośnikiem.

Wskaźniki efektywności energetycznej powinny odnosić się do czynników obniżających główne składowe oporów ruchu w typowych warunkach eksploatacji.

Obniżenie energochłonności napędu przenośnika taśmowego można uzyskać stosując:

- specjalnie dobrane taśmy o konstrukcji rdzenia i parametrach okładki bieżnej dobieganych indywidualnie do konkretnych zastosowań,

- krążniki o zmniejszonych oporach obracania.
- optymalizację parametrów konstrukcji przenośnika na etapie jego projektowania.

Powyższe działania można podzielić na dwa główne kierunki działania:

- wybór energooszczędnych podzespołów w danych warunkach eksploatacyjnych,
- dokładne obliczenia projektowe przenośnika z uwzględnieniem wariantowych podzespołów dla rozpoznanych warunków eksploatacyjnych; konieczne jest zastosowanie zaawansowanych metod obliczeń.

Z tych rozważań wypływają sugestie podjęcia prac nad WEE głównych podzespołów przenośnika: taśmy, krążników i zespołów napędowych oraz – sugerowany w (Kulinowski i in., 2013) – WEE projektu przenośnika. W niniejszym artykule przedstawiono wstępne rozważania dotyczące WEE taśmy przenośnikowej. Konstrukcja taśmy, zastosowane materiały, grubość taśmy, rdzenia i okładek, masa taśmy, właściwości sprężyste, sztywność (w kierunku wzdłużnym i poprzecznym) oraz tłumienie to parametry taśmy, które mają wpływ na główne opory ruchu przenośnika: toczenia krążników po taśmie, przeginania taśmy na zestawach krążnikowych, falowania urobku i na opory skupione - przeginania taśmy na bębnach. Poprzez właściwy dobór tych parametrów można zmniejszyć opory ruchu przenośnika, a zatem zmniejszyć zużycie energii.

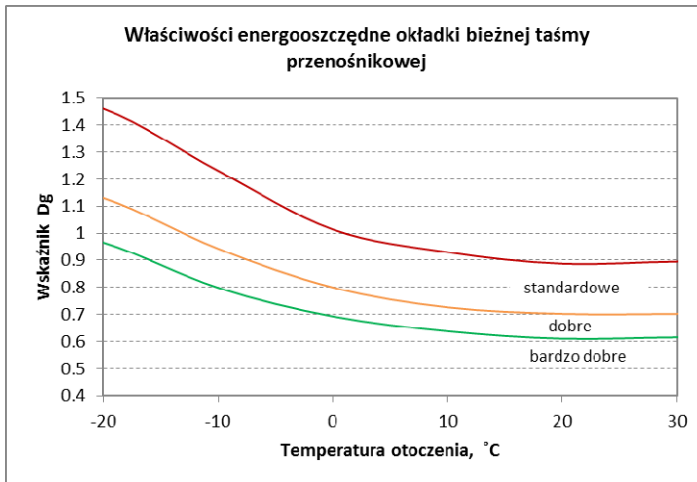
2.1. KONCEPCJA WEE TAŚMY PRZENOŚNIKOWEJ – PARAMETRY GUMY OKŁADKI BIEŻNEJ

Największy udział w całkowitych oporach ruchu mają opory toczenia krążników po taśmie. Analiza zjawisk zachodzących w taśmie podczas toczenia się kolejnych krążników po jej powierzchni, analiza teoretyczna oraz badania eksperymentalne, wykazały możliwości zmniejszenia oporów toczenia się taśmy po krążnikach poprzez zmianę właściwości sprężystych i tłumienia taśmy. Opory toczenia taśmy po krążnikach wynikają z cyklicznego ściskania okładki bieżnej taśmy przez krążniki nośne. Po zejściu z krążnika taśma wraca do pierwotnego kształtu z opóźnieniem wynikającym ze strat tłumienia materiału okładki bieżnej powodując, że w trakcie toczenia część energii kinetycznej taśmy jest tracona i przemieniana w ciepło. Na podstawie znanych z literatury zależności na opór toczenia taśmy po krążniku można zauważyć, że opór ten jest wprost proporcjonalny do współczynnika tłumienia i odwrotnie proporcjonalny do pierwiastka trzeciego stopnia z modułu sprężystości gumy. Iloraz ten nazywany jest wskaźnikiem właściwości dynamicznych gumy D_g (Bajda, 2009)

$$D_g = \frac{T_e}{\sqrt[3]{E_e}} \quad (1)$$

Właściwości sprężyste oraz tłumienie taśmy zmieniają się w zależności od konstrukcji taśmy i zastosowanych materiałów. Zatem opory toczenia taśmy po krążnikach oraz zużycie energii elektrycznej przez napęd przenośnika można ograniczyć przez optymalnie dobraną okładkę bieżną taśmy.

Wieloletnie doświadczenia z własnych badań laboratoryjnych (Raporty, 2008-2014) pozwoliły zebrać wyniki współczynnika tłumienia i modułu sprężystości przy cyklicznych obciążeniach ściskających dla około 50 rodzajów gumy okładkowej. Badania gumy, opisane w (Hardygóra i inni, 2009, Bajda, 2009), były prowadzone dla próbek gumy w kształcie krążka o średnicy 60 mm i grubości 8 mm, dla ujemnych i dodatnich temperatur otoczenia. Dla poszczególnych temperatur wyznaczono zakresy uzyskanych w badaniach wartości wskaźnika Dg i dokonano wstępnej klasyfikacji na trzy grupy: guma okładkowa o właściwościach standardowych, dobrych i bardzo dobrych. Właściwości energooszczędne okładek bieżnych taśmy przenośnikowej w trzech grupach energooszczędności przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Klasyfikacja gumy okładkowej wg energooszczędności
Fig. 1. Classification of cover rubber with regard to energy-saving properties

Spśród wielu przebadanych próbek gum wybrano następnie typowych reprezentantów grup – gumy, dla których wartości wskaźnika właściwości dynamicznych są najbardziej zbliżone do średnich w grupach: *standardowe* i *dobre* oraz zbliżone do najlepszych wartości wskaźnika w grupie *bardzo dobre* (tab. 1).

Dla wybranych typów gumy okładkowej wyznaczono ciągle charakterystyki modułu sprężystości przy ściskaniu oraz tłumienia w funkcji temperatury, wbudowane jako *metody wirtualne* obliczania aktualnych wartości modułu i współczynnika tłumienia, wykorzystywanych w procedurach obliczeń oporów ruchu w *QNK-TT*.

Tab.1. Parametry próbek gum reprezentujących grupy energoozczędności gumy okładkowej
 Tab. 1. Parameters of rubber specimen representing groups of energy efficiency of rubber belt cover

Właściwości energoozczędne okładki bieżnej		Temperatura, stopnie C					
		-20	-10	0	10	20	30
Bardzo dobre	Moduł spręż. przy ściskaniu $\times 10^6$ N/m ²	58,4	53,5	51,5	51,3	50,7	50,6
	Tłumienie, %	31,7	26,4	22	20,6	20,2	20,6
	D_g	0,817	0,701	0,591	0,554	0,546	0,557
Dobre	Moduł spręż. przy ściskaniu $\times 10^6$ N/m ²	60	55,3	52,5	52,5	52,3	52,3
	Tłumienie, %	41,2	33,1	27,1	25,3	24,7	25,1
	D_g	1,052	0,869	0,724	0,676	0,66	0,671
Standardowe	Moduł spręż. przy ściskaniu $\times 10^6$ N/m ²	66,71	59,88	53,24	50,52	49,78	49,73
	Tłumienie, %	53,27	48,15	38,12	31,31	28,02	28,03
	D_g	1,313	1,231	1,013	0,847	0,762	0,762

Stosowanym już (Gładysiewicz & Kawalec, 2011; Kulinowski i inni, 2012) wskaźnikiem energochłonności taśmy jest *jednostkowe zużycie energii (JZE)*, wyrażone w Ws/kgm, czyli ilość energii potrzebna do przetransportowania 1 kg urobku na odległość 1m. W celu porównania wpływu parametrów okładki bieżnej na energochłonność przenośnika należy wyznaczyć następujące wskaźniki:

- *JZE* toczenia taśmy na krążnikach – JZE_{we} – bezpośrednio zależne od D_g
- *JZE* w ciągnie górnym – JZE_{cg} (suma oporów głównych w ciągnie górnym)
- *JZE* na przenośniku – JZE_T (uwzględnia również opory ciągną dolnego i skupione).

JZE ma tę zaletę, że umożliwia wprost oszacowanie zużycia energii na przenośniku w zależności od przyjętych warunków eksploatacyjnych. Alternatywnie można również wyznaczyć *WEE* wyrażony w wartości oporu toczenia taśmy na krążnikach na jednostkę długości trasy (w N/mb) jednak w tym wypadku oszacowanie zużycia energii na przenośniku nie jest jednoznaczne.

2.2. STUDIALNE OBLICZENIA TYPOWYCH PRZENOŚNIKÓW DUŻEJ WYDAJNOŚCI Z WARIANTOWYMI PARAMETRAMI OKŁADKI BIEŻNEJ

Obliczenia porównawcze wykonano przy pomocy programu *QNK-TT* dla dwóch standardowych przenośników reprezentujących górnicze systemy transportu taśmowego wielkiej wydajności: przenośnika podziemnego typu *Legmet 1200* z kopalni rud miedzi oraz przenośnika nadkładowego *B2250* z kopalni węgla brunatnego (por. tab. 2). Każda z analizowanych taśm na tych przenośnikach była wyposażona w okładkę nośną z gumy standardowej oraz wariantowe (z 3 grup energoozczędności)

okładki bieżne. Przyjęto typowe grubości okładek. Wielowariantowe obliczenia wykonano dla szerokiego zakresu wydajności (0–70% wydajności nominalnej) oraz opcjonalnych parametrów taśm i temperatury otoczenia.

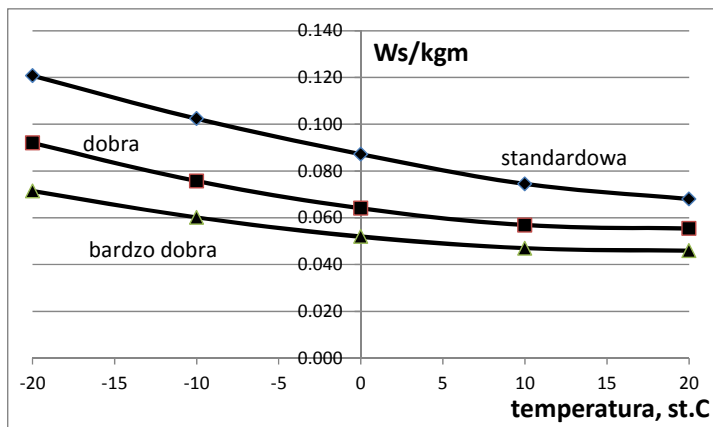
Tab.2. Wybrane parametry analizowanych górniczych przenośników taśmowych
Tab.2. Selected parameters of analyzed mining belt conveyors

Parametr	Przenośnik podziemny	Przen. odkrywkowy
Transportowany urobek, gęstość, kg/m ³	Ruda miedzi, 1700	Nadkład, 1700
Temperatura pracy, °C	25	-20, -10, 0, 10, 20
Długość, m; wznios	1000; poziomy	1200; poziomy
Szerokość taśmy, mm	1200	2250
Taśma; okładki, mm	Trudnopalna, EP2000/4 6+3; PVG2000 sw 6+3; St2000 8T+6	St3150; 14+7
Prędkość taśmy, m/s	2,5	5,98
Rozstaw zestawów krążników, m	0,83; 2,5	1,2; 6
Opór obracania krążnika górnego, N	1,3-1,9 (zależnie od obciążenia)	6,5
Wydajność obliczeniowa, t/h	250-1750	100-18000
Uwaga do obliczeń	Siła napinania ustalona dla maksymalnego obciążenia	

3. WYNIKI OBLICZEŃ

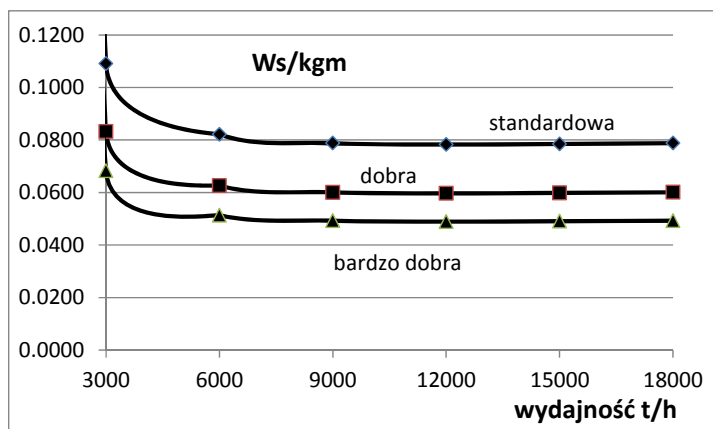
Z uwagi na zależność parametrów gumy okładkowej od temperatury, wskaźnik JZE_{we} również jest od niej zależny (rys. 2). Oznacza to, że wskaźniki JZE_{we} powinny być wyznaczane osobno dla zastosowań odkrywkowych (w których należy określić planowany zakres temperatur roboczych) i podziemnych, charakteryzujących się stałą (dość wysoką) temperaturą otoczenia. W wypadku przenośnika nadkładowego obliczenia wykonano w całorocznym zakresie temperatur, uśredniając wyniki wg rozkładu temperatur na Niżu Polskim (por. Gładysiewicz & Kawalec, 2011). Na wykresach przedstawiono wartości JZE_{we} dla przenośnika nadkładowego dla okładki bieżnej o właściwościach dynamicznych standardowych, dobrych i bardzo dobrych.

Wskaźnik JZE_{we} w przedziale 25-70% wydajności nominalnej jest niemal stały (ok. 0,079 Ws/kgm dla okładki standardowej, ok. 0,06 Ws/kgm dla okładki dobrej oraz ok. 0,05 dla okładki bardzo dobrej). Powstaje pytanie, w jakim stopniu te wartości przekładają się na rzeczywiste oszczędności zużycia energii na typowym przenośniku nadkładowym. Przyjmijmy, że w ciągu roku przenośnik o długości 1 km transportuje 30 mln t nadkładu (ok. 18 mln m³). W tabeli 3 zestawiono obliczoną na podstawie wyznaczonych wskaźników JZE_T i JZE_{we} wartość zużytej energii transportu.



Rys. 2. JZE toczenia taśmy na krążnikach c.górnego przenośnika nadkładowego w funkcji temperatury (obliczona dla wydajności 12000 t/h).

Fig. 2. Specific energy consumption of indentation (rolling) resistance (SEC_{RR}) of top belt of an overburden belt conveyor as a function of temperature (calculated for capacity 12000 t/h).



Rys. 3. JZE_{We} ciągną górnego przenośnika nadkładowego w funkcji wydajności

Fig. 3. SEC_{RR} of top belt of the overburden belt conveyor as a function of capacity

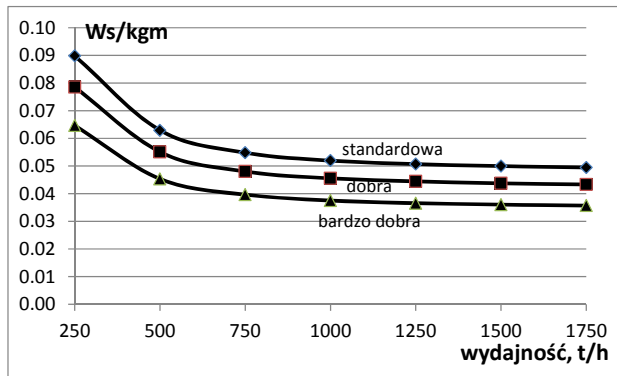
W skali przenośnika uzyskano oszczędność rzędu 5–6% całkowitego zużycia energii w wypadku zastąpienia okładki bieżnej standardowej okładką o dobrych oraz nawet 7–9% w wypadku okładki o bardzo dobrych właściwościach dynamicznych.

Tab. 3. Roczne oszczędności zużycia energii w zależności od JZE_{we} dla przenośnika nadkładowego
 Tab. 3. Annual energy savings dependent on SEC_{RR} for the overburden belt conveyor

Wydajność masowa, t/h	Zużycie energii toczenia taśmy na krążnikach górnych, MWh					całkowite zuż. energii stand., MWh	zaoszcz. energia okładka dobra, %	zaoszcz. energia okładka bardzo dobra, %
	Okładka stand.	Okładka dobra	Różnica db-std	Okładka b.dobra	Różnica bdb-std			
3000*	455*	346*	108*	285*	170*	2527*	4.3%	6.7%
6000	685	522	163	428	257	3539	4.6%	7.3%
9000	657	501	156	410	246	3098	5.0%	7.9%
12000	652	497	155	408	245	2890	5.4%	8.5%
15000	654	499	155	409	245	2774	5.6%	8.8%
18000	657	501	156	410	246	2704	5.8%	9.1%

* wydajność roczna obniżona do 15 mln t

W przypadku przenośnika podziemnego rozpatrywano trzy taśmy przenośnikowe o różnej konstrukcji rdzenia: tkaninowo-gumowa wieloprzekładkowa *EP 2000/4*, jednoprzekładkowa „solid-woven” *PVG 2000* oraz z linkami stalowymi *St 2000*. Obliczenia wykonano dla stałej temperatury otoczenia. Przykładową charakterystykę JZE_{we} dla taśmy wieloprzekładkowej *EP 2000* przedstawiono na rys. 4. Zróżnicowanie wyników energooszczędności dla różnych konstrukcji taśmy przedstawia tab. 4.



Rys. 4. JZE_{we} cięgna górnego przenośnika podziemnego w funkcji wydajności (taśma EP 2000/4)

Fig. 4. SECRR of top belt of the underground belt conveyor as a function of capacity (EP 2000/4 belt).

W celu oszacowania możliwych oszczędności energii przyjęto, że w ciągu roku przenośnik o długości 1 km transportuje 3 mln t rudy. Wyniki zestawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Roczne oszczędności zużycia energii w zależności od JZE_{We} dla przenośnika podziemnego
 Tab. 4. Annual energy savings dependent on SEC_{RR} for the underground conveyor

Wydajność masowa, t/h	Zużycie energii toczenia taśmy na krążnikach górnych, MWh					Całkowite zużycie energii stand. MWh	Zaoszczędzona energia - okładka dobra, %	zaoszcz. energia - okładka bardzo dobra, %
	Okładka standard.	Okładka dobra	Różnica db-std	Okładka b. dobra	Różnica bdb-std			
taśma wieloprzekładowa EP, textile multiply belt								
250*	37*	33*	4*	27*	10*	228*	2.1	4.6
500	52	46	7	38	15	270	2.4	5.4
750	46	40	6	33	13	220	2.6	5.8
1000	43	38	5	31	12	195	2.7	6.2
1250	42	37	5	30	12	185	2.8	6.4
1500	42	36	5	30	12	178	2.9	6.5
1750	41	36	5	30	11	173	3.0	6.6
taśma jednoprzekładowa „solid-woven”, textile solid-woven belt								
250*	35*	31*	4*	25*	10*	216*	2.0	4.5
500	50	44	6	37	14	258	2.4	5.4
750	45	39	6	32	12	208	2.7	6.0
1000	43	37	5	31	12	186	2.9	6.4
1250	42	37	5	30	12	175	3.0	6.7
1500	42	36	5	30	12	170	3.0	6.8
1750	41	36	5	30	12	166	3.1	6.9
taśma z linkami stalowymi, steel-cord belt								
250*	47*	41*	6*	34*	13*	240*	2.5	5.5
500	62	54	8	45	18	288	2.8	6.1
750	52	46	7	38	15	228	3.0	6.4
1000	49	42	6	35	14	201	3.1	6.8
1250	46	40	6	33	13	187	3.2	7.0
1500	45	39	6	33	13	180	3.2	7.0
1750	44	39	6	32	12	175	3.3	7.1

* wydajność roczna obniżona do 1,5 mln t

W skali przenośnika uzyskano oszczędność rzędu 2–3,5% całkowitego zużycia energii w wypadku zastąpienia okładki bieżnej standardowej okładką o dobrych oraz 4,5–7% – w wypadku okładki o bardzo dobrych właściwościach dynamicznych, zależnie od typu zastosowanej taśmy. Są to oszczędności nieco mniejsze niż w wypadku

przenośnika nadkładowego ale np. przekraczające wartości szacowane dla opon dla obowiązujących etykiet energooszczędności G i A.

4. PODSUMOWANIE, WNIOSKI I KIERUNKI DALSZYCH PRAC

Mając na uwadze konieczność zmniejszenia energochłonności transportu taśmowego, zaproponowano wprowadzenie wskaźników efektywności energetycznej (WEE) oraz opracowanie systemu etykiet efektywności energetycznej dla przenośników taśmowych.

Z uwagi na złożoność konstrukcji przenośnika oraz wymiennosc jego elementów, WEE powinny być opracowane co najmniej dla głównych zespołów przenośnika: taśmy przenośnikowej, krążników oraz zespołów napędowych. Ponadto celowe jest rozpatrzenie koncepcji kompleksowego WEE przenośnika, służącego do porównania jego efektywności energetycznej z rozwiązaniem optymalnym z uwagi na energochłonność (wyznaczonym wg metody BAT) w danych warunkach eksploatacyjnych.

WEE zespołów przenośnika powinny być wyrażone w jednostkach fizycznych umożliwiających projektantom wiarygodne obliczenie spodziewanych oszczędności z wprowadzania rozwiązań bardziej energooszczędnych. Taką jednostką jest jednostkowe zużycie energii (JZE), wyrażone w Ws/kgm (ilość energii potrzebna na przetransportowanie w poziomie 1 kg danego nosiwa na odległość 1m).

Jako wstęp do wprowadzenia WEE taśmy przenośnikowej zaproponowano analizę energooszczędności okładki bieżnej. Na podstawie wyników wieloletnich badań laboratoryjnych mieszanek gumowych stosowanych do wytwarzania gumy okładkowej dokonano ich wstępnej klasyfikacji na 3 grupy o standardowych (przeciętnych), dobrych i bardzo dobrych właściwościach dynamicznych, decydujących o największej składowej oporów głównych przenośnika – oporze toczenia taśmy na krążnikach.

Dla wytypowanych reprezentantów 3 grup energooszczędności gumy okładkowej opracowano ciągle charakterystyki modułu sprężystości przy ścisnieniu oraz tłumienia w funkcji temperatury, stosowane do obliczeń oporów ruchu. Analizę wpływu klasy energochłonności okładki bieżnej na zużycie energii na przenośniku wykonano na podstawie wielowariantowych obliczeń dla dwóch typowych górniczych przenośników: podziemnego do transportu rudy miedzi oraz pracującego na powierzchni do odstawy nadkładu w kopalni węgla brunatnego.

Z uwagi na dużą zależność własności dynamicznych gumy od temperatury, WEE okładki bieżnej powinien być rozpatrywany w wyszczególnionych przedziałach temperatur reprezentujących typowe warunki eksploatacji. W górnictwie krajowym zapewne wystarczy rozróżnić zastosowania podziemne i odkrywkowe (całoroczne).

Wykonana dla przenośnika podziemnego analiza porównawcza taśm o różnych konstrukcjach rdzenia dowodzi, że wpływ WEE okładki bieżnej taśmy na energochłonność napędu przenośnika zależy także od rodzaju taśmy. Konstrukcja rdzenia

taśmy ma ponadto wpływ na opory przeginania taśmy co wskazuje na celowość opracowania WEE rdzenia taśmy. Na opory główne przenośnika ma wpływ również masa taśmy, którą należy uwzględnić przy klasyfikacji energooszczędności.

Przyjęty podział na 3 grupy energooszczędności gumy okładkowej jest traktowany jako wstępny, służący do oceny użyteczności podziału dla oszacowania zróżnicowania energochłonności przenośnika w wypadku zastosowania taśmy z okładkami z tych grup. Dla typowych przenośników w górnictwie podziemnym i odkrywkowym uzyskano oszacowane oszczędności rzędu 7–9% w wypadku zastąpienia gumy standardowej gumą o bardzo dobrych własnościach dynamicznych. Są to już znaczne różnice, uzasadniające klasyfikację gum jako elementu dla systemu etykiet efektywności energetycznej taśm (wzorowanego na etykietach dla opon samochodowych), uwzględniającego warunki eksploatacji.

Prace nad klasyfikacją energooszczędności wytypowanych podzespołów i ich elementów wymagają kompleksowych badań doświadczalnych w laboratorium i „in-situ” oraz eksperymentów numerycznych z zastosowaniem specjalistycznego oprogramowania.

Wprowadzenie systemu WEE dla podzespołów przenośnika będzie wymagać opracowania procedur pomiarów mierzalnych wartości, służących do wyznaczania WEE, których efektem powinny być – tak, jak w wypadku systemów innych etykiet efektywności energetycznej – normy metod pomiarowych i wartości wzorcowych. Wzorcowe wartości WEE podzespołów mogą być z kolei użyte w dokładnych obliczeniach przenośników taśmowych, przyczyniając się do poprawienia ich efektywności energetycznej na etapie projektowania.

Wszystkie obliczenia wykonano za pomocą programu *QNK-TT* z modułem do obliczeń oporów ruchu metodą oporów jednostkowych.

LITERATURA

- BAJDA M., 2009, Wpływ okładki gumowej na opory toczenia taśmy przenośnikowej po krążnikach, Praca doktorska (niepublikowana), Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii PWr, Wrocław 2009
- Dyrektywa Rady 92/75/EWG z dnia 22.09.1992 r. w sprawie wskazania poprzez etykietowanie oraz standardowe informacje o produkcie, zużycia energii oraz innych zasobów przez urządzenia gospodarstwa domowego, Dz. Urz. UE L 297, 13.10.1992
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady WE 2002/91/WE z dnia 16.12.2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków, Dz. Urz. UE L z 4.1.2003
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1999/94/WE z dnia 13.12.1999 r. odnosząca się do dostępności dla konsumentów informacji o zużyciu paliwa i emisjach CO₂ w odniesieniu do obrotu nowymi samochodami osobowymi, Dz. Urz. UE L 12 z 18.1.2000
- GLADYSIEWICZ L., 2003, Przenośniki taśmowe Teoria i obliczenia, Oficyna Wyd. Pol. Wr., Wrocław 2003
- GLADYSIEWICZ L., KAWALEC W., 2002, Możliwości zmniejszenia mocy napędu głównego przenośnika taśmowego, Transport Przemysłowy 1(7)/2002

- GLADYSIEWICZ L., KAWALEC W., 2011, Dobór rozstawów krążników górnych nowej generacji w przenośnikach nadkładowych dużej wydajności, *Transport Przem. i Maszyny Robocze* 3(13)/2011
- HONDEL VAN DEN G., 2012, Analiza efektywności aramidów Teijin dla taśm przenośnikowych, *T. Przem. i M. Rob.* 1(15)/2012
- HARDYGÓRA M., WOŹNIAK D., KOMANDER H., BAJDA M., SAWICKI W., 2009, Experimental research of energy-saving conveyor belts, *Transport & Logistics (Belgrade)* [Dokument elektroniczny]
- HARRINGTON L., 2004, *Energy Labelling and Standard Programs Throughout the World*, Australia 2004
- KAWALEC W., KULINOWSKI P., 2007, Obliczenia przenośników taśmowych, *T. Przem.* 1(27), 2007
- KULINOWSKI P., PANEK P., RUBACHA P., 2013, Aktualne kierunki poszukiwania energooszczędnych rozwiązań w konstrukcji i eksploatacji przenośników taśmowych, *T. Przem. i M. Rob.* 3(21)/2013
- Raporty Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Laboratorium Transportu Taśmowego, 2008-2014, Autorzy: Hardygóra M., Bajda M., Woźniak D., Błazej R., Badania właściwości gumy przy cyklicznym ściskaniu: nr LTT/09/2008, LTT/10/2008, LTT/22/2008, LTT/25/2008, LTT/04/2009, LTT/08/2009, LTT/15/2009, LTT/41/2013, LTT/27/2014, LTT/37/2014 (niepublikowane)
- Report from Network of Laboratories Commission Expert Group V6-1, 2011, Report from the Expert Group on laboratory alignment for the measurement of tyre rolling resistance installed under Regulation (EC) No 1222/2009 and listed on the Commission registry of Expert Groups to the EC
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 1222/2009 z dnia 25 listopada 2009 r. w sprawie etykietowania opon pod kątem efektywności paliwowej i innych zasadniczych parametrów, *Dz. Urz. UE* L342/46 PL
- WAIDE P., 2011, Overview and Update of the ERP Directive, Energy Labelling Directive and Eco-label in the European Union, Asia Energy Efficiency Standards and Labelling Forum and 2011 2nd BRESL Training Workshop, Guilin, China – 15-16/11/2011

ENERGY EFFICIENCY OF THE BOTTOM COVER OF A CONVEYOR BELT – THE FIRST STEP TO THE NEW CLASSIFICATION OF BELTS

Following the European policy of decreasing the energy consumption (and the corresponding CO₂ emission), since 1992 energy labelling of household appliances have been introduced on the European market. The idea of labelling (A, B,.. , G) of machines and other objects that consume energy has been expanded onto cars and buildings. The industry also has to increase the energy efficiency therefore it seems to be suitable to begin with energy labelling of machinery equipment. Transportation in the mining industry shares up to 50% of the total energy consumption of a mining system. Apart of cars (that already have been subjected to energy labelling) belt conveyors are the most extensively used transportation equipment in the mining industry. The authors propose to undertake the activity aiming the implementation of energy labelling of belt conveyors worked in the large transportation systems.

In this paper some entry concepts and results of classification of energy efficiency of conveyor belts with regard to parameters of a belt running cover are presented. The calculations are made with the use of the domestic software QNK-TT with the primary resistances module.