

Jerzy ANTONIAK
Politechnika Śląska, Gliwice

PRĘDKOŚĆ FALI NAPRĘŻENIA W ŁAŃCUCHU PRZENOŚNIKA ZGRZEBŁOWEGO

Streszczenie. Przeprowadzono badania przemysłowe ścianowych przenośników zgrzeblowych, w ramach których określono prędkość fali naprężenia przemieszczającej się w łańcuchu zgrzeblowym. Wyznaczono teoretycznie prędkość fali naprężenia odpowiadającą procesowi rozruchu przenośnika oraz prędkość fali naprężenia, wynikającą z efektu poligonowego – współpracy łańcucha ogniwowego z kołem napędowym o kształcie wieloboku. Prędkości te porównano z prędkościami określonymi eksperymentalnie i uzyskano dobre wyniki.

STRESS WAVE VELOCITY IN AN ARMOURED FACE CONVEYOR CHAIN

Summary. Industrial investigations of armoured face conveyors have been conducted. Stress wave velocity in a scraper chain has been measured in these tests. Theoretical values of stress wave velocity during start-up and resulting from polygon effect have been calculated. These values have been compared with satisfactory approximation with experimental results.

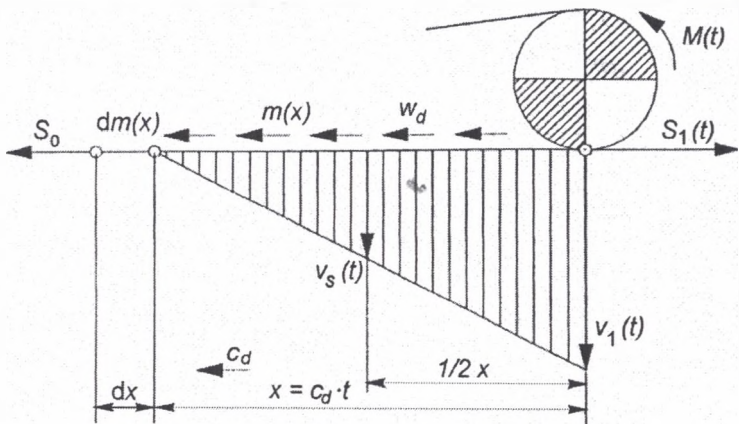
1. Prędkość rozchodzenia się fali naprężenia w łańcuchu zgrzeblowym podczas rozruchu przenośnika

Jednym z istotnych zjawisk w dynamice przenośnika zgrzeblowego jest prędkość rozchodzenia się fali naprężenia w łańcuchach. W ścianowych przenośnikach zgrzeblowych obserwuje się wyraźne opóźnienia w czasowych przebiegach sił i prędkości w punktach o różnej odległości od miejsca wymuszenia. Typowym przykładem jest opóźnienie prędkości bębna wysypowego w stosunku do wcześniej załączonego bębna zwrotnego w trakcie rozruchu przenośnika. Opóźnienie to jest związane z czasem, jaki jest niezbędny do pokonania odległości między bębnami przez falę naprężenia, przemieszczającą się w ciągnie dolnym od miejsca wymuszenia, czyli od napędu zwrotnego, do napędu wysypowego (głównego), oraz z przy-

stosowaniem obu napędów do przenoszenia równomiernego obciążenia w trakcie pracy ustalonej.

Do analizowania zjawiska falowego charakteru propagacji naprężeń wzdłużnych w łańcuchu zgrzeblowym wykorzystuje się model przedstawiony na rys. 1, który wymaga następujących założeń:

- łańcuch zgrzeblowy rozpięty wzdłuż trasy przenośnika jest jednorodnym ciałem sprężystym,
- na łańcuch działają równomiernie rozłożone opory ruchu, których wektory skierowane są przeciwnie do zamierzonego kierunku ruchu na całej długości objętej zasięgiem fali naprężenia,
- poza zasięgiem fali naprężenia łańcuch znajduje się w spoczynku (tj. prędkość łańcucha wynosi 0, a siły w łańcuchu nie zmieniają się),
- prędkość łańcucha w punkcie nabiegania na bęben napędowy (w miejscu wymuszenia) wzrasta ze stałym przyspieszeniem,
- nie występuje wpływ drgań poprzecznych na drgania podłużne łańcucha.



Rys. 1. Wycinek trasy przenośnika zgrzeblowego będący w zasięgu fali naprężenia w początkowej fazie rozruchu

Fig. 1. Section of an armoured face conveyor which is within the range of the stress wave during the beginning of the start-up

Wskutek przyłożenia momentu obrotowego $M(t)$ do bębna napędowego w punkcie 1 pojawia się siła wzdłużna $S_1(t)$, wywołująca falę naprężenia przemieszczającą się z prędkością c_d wzdłuż łańcucha w kierunku x , ku bębnowi wysypowemu. W chwili t w ruchu znajduje się odcinek łańcucha długości $x(t)$ oraz związana z nim równomiernie rozłożona masa $m(x)$.

W punkcie o współrzędnej x prędkość łańcucha wynosi 0, a siła rozciągająca łańcuch zachowuje poziom siły napięcia przed rozruchem S_0 . W miarę przemieszczania się fali zwiększa się zasięg ruchu, a tym samym masa będąca w ruchu $m(x)$. W związku z tym do opisu zjawiska można zastosować równanie ruchu ciała o zmiennej masie:

$$m(x) \cdot \frac{dv(x)}{dt} = (u - v_s) \cdot \frac{dm(x)}{dt} + \sum P_i \quad (1)$$

gdzie:

- $\sum P_i$ – wypadkowa sił zewnętrznych działających na wybrany odcinek łańcucha długości x , N,
 - u – prędkość środka masy odcinka wchodzącego w ruch, a więc odcinka o długości dx (w analizowanym przypadku prędkość środka masy tego odcinka wynosi $u = 0$, gdyż odcinek ten w chwili t znajduje się na granicy zasięgu fali), m/s,
 - v_s – prędkość środka masy odcinka objętego ruchem, m/s,
 - $m(x)$ – masa zredukowana ciężna dolnego o długości x , tj. odcinka będącego w ruchu, kg.
- Suma sił zewnętrznych działających na rozpatrywany odcinek w gałęzi dolnej wynosi:

$$\sum P_i = S_1(t) - W_d \quad \text{N} \quad (2)$$

Ponieważ opór ruchu odcinka łańcucha W_d , przy równomiernie rozłożonych na całej długości oporach jednostkowych w_d , N/m, wynosi: $W_d = w_d \cdot x$, a zatem

$$\sum P_i = S_1(t) - w_d \cdot x \quad (3)$$

Przyjmując liniowy rozkład prędkości od wartości 0 w punkcie x do prędkości v_1 w punkcie l oraz zgodnie z założeniem $a_B = \text{const}$, m/s^2 , można prędkość v_s określić zależnością:

$$v_s = \frac{v_1}{2} = \frac{1}{2} \cdot a_B \cdot t \quad \text{m/s} \quad \text{oraz} \quad \frac{dv_s}{dt} = \frac{1}{2} \cdot a_B \quad \text{m/s}^2 \quad (4)$$

Zakładając jednorodność łańcucha zgrzeblowego, można masę $m(x)$ określić iloczynem masy jednostkowej m_{jd} , kg/m i długości x , m:

$$m(x) = m_{jd} \cdot x \quad \text{kg} \quad \text{oraz} \quad \frac{dm(x)}{dt} = m_{jd} \cdot \frac{dx}{dt} \quad (5)$$

Masa jednostkowa łańcucha zgrzeblowego jest tutaj rozumiana jako zredukowana do ruchu postępowego masa wszystkich elementów ruchomych – zalicza się do nich masy łańcucha, zgrzebeł, urobku – przeliczona na jednostkę długości. Po odpowiednich podstawieniach otrzymuje się:

$$\frac{1}{2} \cdot m_{jd} \cdot a_B \cdot x = S_1(t) - w_d \cdot x - \frac{1}{2} \cdot m_{jd} \cdot a_B \cdot \frac{dx}{dt} \quad (6)$$

i po przekształceniu

$$\frac{dx}{dt} = \frac{2 \cdot S_1(t)}{a_B \cdot m_{jd} \cdot t} - \frac{x}{t} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot w_d}{a_B \cdot m_{jd}} \right) \quad (7)$$

W jednoparametrowym modelu sprężystym łańcucha zachodzi: $\sigma(t) = E \cdot \varepsilon(t)$, gdzie E jest modułem sprężystości łańcucha przyjmowanym jako stały, N/mm².

W pierwszym okresie rozruchu, aż do osiągnięcia maksimum, siła $S_1(t) = S_1$ przyrasta liniowo, zatem jej pierwsza pochodna po czasie wyniesie:

$$\frac{dS_1(t)}{dt} = \frac{S_1}{t} \quad (8)$$

Wydłużenie łańcucha w punkcie 1 przy liniowym rozkładzie odkształceń na całym odcinku x wyznacza zależność: $\Delta x_1(t) = x_1 \cdot \varepsilon_{sr}$.

Odkształcenie w miejscu nabiegania łańcucha na bęben napędowy zwrotny opisuje natomiast równanie:

$$\varepsilon_1(t) = 2 \cdot \varepsilon_{sr} = \frac{2 \cdot \Delta x_1(t)}{x} = \frac{a_B \cdot t^2}{x} \quad (9)$$

Zastępując naprężenie siłą w łańcuchu: $S_1(t) = \sigma(t) \cdot F$, gdzie F oznacza pole powierzchni prętów ogniwi łańcucha, mm², i wykorzystując zależności (9), a następnie (7) przy uwzględnieniu, że dx/dt jest chwilową prędkością fali naprężenia c_d w miejscu o współrzędnej x po upływie czasu t , natomiast x/t jest średnią prędkością fali naprężenia w przedziale czasu od 0 do t , zatem przy minimalnych różnicach czasu można przyjąć:

$$c_d = \frac{dx}{dt} = \frac{x}{t} = const \quad (10)$$

Zgodnie z tym wyliczona prędkość fali naprężenia w gałęzi dolnej przenośnika c_d i w gałęzi górnej c_g wyniesie:

$$c_d = \sqrt{\frac{E \cdot F}{m_{jd} \cdot \left(1 + \frac{w_d}{a_B \cdot m_{jd}}\right)}} \text{ m/s} \quad \text{oraz} \quad c_g = \sqrt{\frac{E \cdot F}{m_{jg} \cdot \left(1 + \frac{w_g}{a_{BW} \cdot m_{jg}}\right)}} \text{ m/s} \quad (11)$$

Tutaj a_B i a_{BW} oznaczają przyspieszenia rozruchu na bębnie zwrotnym i wysypowym, m/s^2 .

Zredukowaną masę łańcucha w gałęzi górnej przenośnika wylicza się następująco: $m_{rg} = m_l + m_z + c_u m_u$, kg, gdzie c_u oznacza współczynnik udziału masy urobku w drganiach łańcucha (dla węgla $c_u = 0,3 \div 0,5$); zredukowana masa łańcucha w gałęzi dolnej przenośnika $m_{rd} = m_l + m_z$, kg, gdzie m_l , m_z , m_u – odpowiednio masa łańcucha, zgrzebel, urobku, kg.

Ponieważ średnie opory ruchu łańcucha w gałęzi górnej oraz dolnej przenośnika wynoszą $w_g = W_g/L$ oraz $w_d = W_d/L$, N/m, zatem wzory (11) można przekształcić do postaci

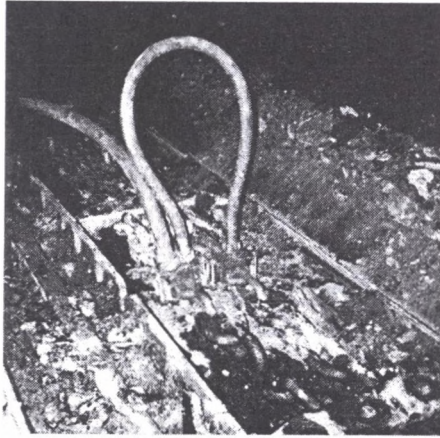
$$c_d = \left\{ E \cdot F / \left(\frac{m_{rd}}{L} + \frac{w_d}{a_B} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{oraz} \quad c_g = \left\{ E \cdot F / \left(\frac{m_{rg}}{L} + \frac{w_g}{a_{BW}} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \text{ m/s} \quad (12)$$

Należy zauważyć, że dla $\beta = 0^\circ$ (przenośnik poziomy) jest $w_d = m_{jd} \cdot g \cdot c_{dl}$, N/m, gdzie c_{dl} jest współczynnikiem oporu ruchu łańcucha w dolnej gałęzi przenośnika. Natomiast $w_g = m_{jg} \cdot g \cdot c_{glu}$, N/m, gdzie c_{glu} jest współczynnikiem oporu ruchu łańcucha i urobku w górnej gałęzi przenośnika.

2. Eksperymentalne wyznaczenie prędkości fali naprężenia w łańcuchu zgrzeblowym występującej podczas rozruchu przenośnika

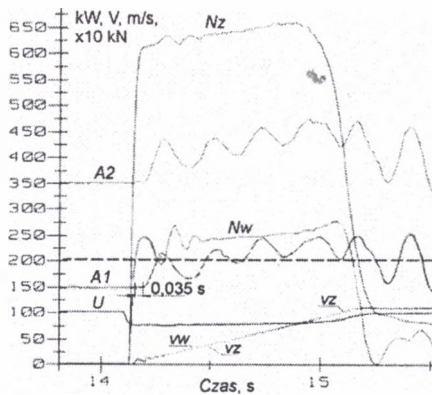
Poprawność wyników obliczeń prędkości fali naprężenia uzyskanych przy zastosowaniu wprowadzonych wzorów sprawdzono przez porównanie ich z wynikami odpowiedniego

eksperymentu. W tym celu wykorzystano wycinki oscylogramów uzyskanych w trakcie przemysłowych badań przenośników zgrzeblowych [2]. W czasie tych badań łańcuchy były wyposażone w czujniki siły napięcia łańcucha (rys. 2).

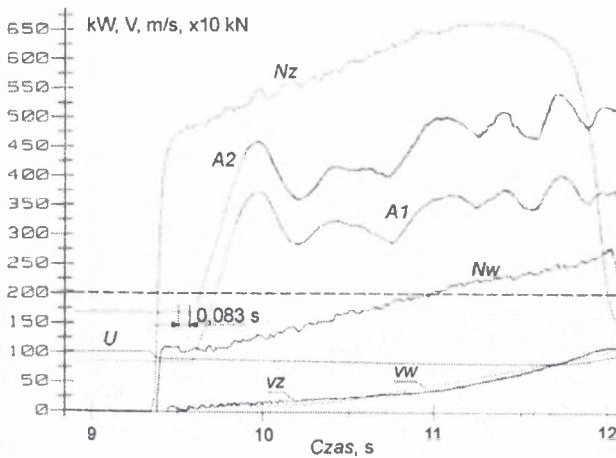


Rys. 2. Widok tensometrycznych czujników do pomiaru siły napięcia łańcucha zgrzeblowego dwupasmowego
Fig. 2. View of the tension sensors measuring the stress of a dual scraper chain

W analizie wykorzystano oscylogramy nr 0209 (rys. 3) oraz nr 0309 (rys. 4) uzyskane z badań przenośnika zgrzeblowego zainstalowanego w ścianie 509 w KWK Piast.



Rys. 3. Wycinek oscylogramu nr 0209 z przebiegu rozruchu stycznikowego ścianowego przenośnika zgrzeblowego dwunapędowego w ścianie nr 509 KWK Piast; przenośnik bez urobku
Fig. 3. Fragment of an oscillogram no. 0209 presenting the direct start-up of an armoured face conveyor with two drives in longwall no 509 of Piast Colliery; the conveyor is empty



Rys. 4. Wycinek oscylogramu nr 0309 z przebiegu rozruchu tyrystorowego ścianowego przenośnika zgrzeblowego dwunapędowego w ścianie nr 509 KWK Piast; przenośnik obciążony urobkiem
 Fig. 4. Fragment of an oscillogram no. 0309 presenting the thyristor start-up of an armoured face conveyor with two drives in longwall no. 509 of Piast Colliery; the conveyor is loaded

Oscylogram nr 0209 dotyczy rozruchu stycznikowego (bezpośredniego) przenośnika próżnego, natomiast oscylogram nr 0309 dotyczy rozruchu tyrystorowego przenośnika obciążonego urobkiem. Najpierw przeprowadzono obliczenia prędkości fali naprężenia z wykorzystaniem wyprowadzonych wzorów, a następnie określono tę prędkość z wykresów uzyskując dość dobrą zgodność wyników. Wyniki analizy zestawiono w tabelicy 1.

Tabela 1

Porównanie prędkości fali naprężenia w łańcuchu zgrzeblowym określonych analitycznie z otrzymanymi z pomiarów

Wyszczególnienie	Ściana 509 KWK Piast, przenośnik zgrzeblowy ścianowy Rybnik 225/750/WB/BP o mocy 2x65/200 kW, przekładnie planetarne – 15	
	Próżny	Załadowany
Łańcuch zgrzeblowy dwupasmowy: wymiar; moduł sprężystości E (wartość przybliżona), powierzchnia przekroju ogniwa F ; prędkość łańcucha v	$2 \times \phi 30 \times 108$ mm, klasa C; $E = 4,9 \times 10^3$ kN/cm ² ; $F = 14,13$ cm ² ; $v = 0,978$ m/s	
Jednostkowa masa łańcucha ze zgrzeblami q_{l-z} , i jednostkowa masa urobku q_u , współczynnik udziału masy urobku w drganiach łańcucha c_u [1, 4]	$m_{jg} = q_{l-z} = 59$ kg/m	$m_{jg} = q_{l-z} + c_u q_u = 59 + 0,4 \cdot 322,2 = 188$ kg/m
Siła napięcia łańcucha A (z oscylogramu)	$A_1 = 15$ kN $A_2 = 35$ kN	$A_1 = 9$ kN $A_2 = 17,5$ kN

cd. tabl. 1

Odległość czujników od napędu wyspowego / (z pomiarów)	18 m	18 m
Przyspieszenie rozruchu a_{BW} , (z oscylogramów)	0,98 m/s ²	0,4 m/s ²
Współczynnik oporu ruchu (wyznaczony analitycznie z wykorzystaniem danych z oscylogramów)	$c_{gt} = 0,34$	$c_{gtu} = 0,41$
Obliczona prędkość fali naprężenia (wzór 11)	$c_{gp} = 518$ m/s	$c_{gu} = 184$ m/s
Czas przebiegu fali naprężenia (rys. 3 i 4)	0,035 s	0,083 s
Prędkość fali naprężenia z pomiarów, m/s	$c_{gpp} = 515$ m/s	$c_{gup} = 216$ m/s

Z analizy wynika, że:

- prędkość fali naprężenia w łańcuchu przenośnika nie obciążonego urobkiem podczas rozruchu bezpośredniego jest większa od tejże prędkości w przenośniku obciążonym urobkiem podczas łagodnego rozruchu,
- prędkość fali naprężenia w łańcuchu podczas rozruchu przenośnika zależy od przyspieszenia rozruchu oraz oporów ruchu i wielkości łańcucha,
- wyprowadzone wzory w sposób poprawny odzwierciedlają rzeczywistą prędkość fali naprężenia.

3. Prędkość fali naprężenia w łańcuchu zgrzeblowym wywołana efektem poligonowym

W przypadku drgań łańcucha wywołanych efektem poligonowym, modelem mechanicznym łańcucha zgrzeblowego z pewnym przybliżeniem może być pręt sprężysty o stałym przekroju poprzecznym, dla którego prędkość fali naprężenia określa zależność (dla górnej gałęzi łańcucha z urobkiem) [1, 4]

$$c_{ggu} = \left(E \cdot F / m_{jgu} \right)^{1/2} \quad \text{m/s} \quad (13)$$

gdzie $m_{jgu} = q_{t+z} + c_u \cdot q_u$ oznacza masę jednostkową łańcucha i urobku, kg/m.

Dla dolnej gałęzi łańcucha będzie $q_u = 0$. W przypadku łańcucha zgrzeblowego dwupasmowego wartość EF dotyczy jednego pasma, natomiast w mianowniku wzoru (13) ujęta jest całkowita masa łańcucha i częściowa masa urobku.

4. Eksperymentalne wyznaczenie prędkości fali naprężenia wywołanej efektem poligonowym

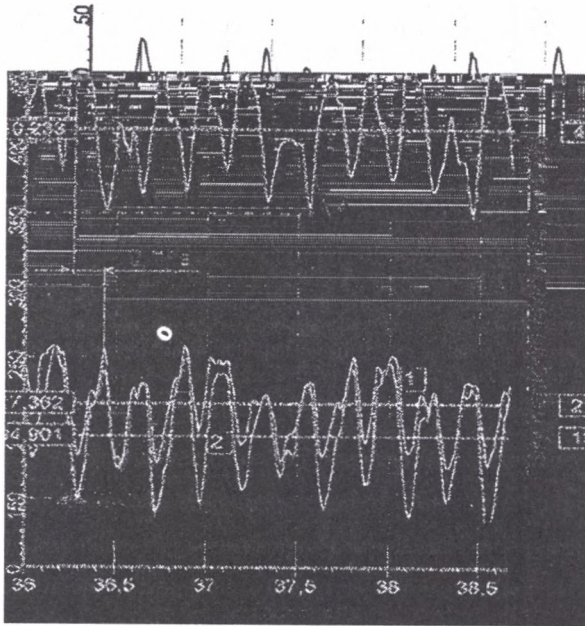
Prędkość fali naprężenia wywołaną efektem poligonowym określono przykładowo dla przenośnika zgrzeblowego typu Longwall 800 zainstalowanego w ścianie nr 522 w KWK Piast. Prędkość tę wyznaczono metodą pośrednią. Z oscylogramów wykonanych podczas badań dokonano, przy użyciu odpowiedniego programu opracowanego dla tych celów na komputer, powiększeń oscylacji sił w łańcuchach. Wynikiem tych powiększeń są przebiegi sił w łańcuchach, spowodowane nabieganiem łańcucha na gwiazdę napędową przenośnika, będącą wielobokiem, co daje w wyniku zmienność prędkości liniowej łańcucha i jego przyspieszeń, wyrażających się zmiennością sił w łańcuchach. Wykonane powiększenie fragmentu przykładowego oscylogramu nr 0105 (rys. 5) pozwoliły na w miarę precyzyjne wyznaczenie czasu przemieszczenia się fali naprężenia w łańcuchach.

Wycinek oscylogramu odpowiada rozruchowi i pracy ustalonej przenośnika zgrzeblowego bez urobku, wyposażonego w dwa napędy z silnikami mocy 400 kW i sprzęgłami hydrodynamicznymi przepływowymi na wodę.

Czujnik $A2$ był umieszczony bliżej napędu wysypowego, a czujniki $B1$ i $B2$ były oddalone od niego o około 120 m. Do wyznaczenia czasu przebiegu fali naprężenia wykorzystywane były przebiegi sił reprezentowane jako sygnały z tych czujników. Punktami charakterystycznymi stanowiącymi podstawę pomiaru czasu były zaznaczone maksima przebiegu sił napięcia. Analizy wykonywano dla prędkości łańcucha uznanej za ustaloną. Dla przenośnika zgrzeblowego próżnego ze ściany 522 i oscylogramu nr 0105 i nr 0106 wyznaczono czas, jaki upływa pomiędzy zarejestrowanym wierzchołkiem krzywej przebiegu siły napięcia przez czujnik $A2$, a tym samym wierzchołkiem zarejestrowanym przez czujnik $B2$. Z wyznaczonych czasów oraz znanej odległości między czujnikami $A2$ i $B2$ wynoszącej $\Delta L = 120,87$ m wyliczono prędkość fali naprężenia $c_{gpp} = \Delta L / \Delta t$, m/s. Z oscylogramu nr 0105 wyznaczona w ten sposób prędkość fali wynosiła $c_{gpp} = 930$ m/s, a wyznaczona z oscylogramu nr 0106 wynosiła średnio $c_{gpp} = 1018$ m/s. Różnicę w wyznaczonych prędkościach fali należy tłumaczyć zwiększoną siłą napięcia łańcucha, który pomiędzy tymi pomiarami przemieścił się o około 30 m w kierunku wysypu. Zwiększyła się w ten sposób siła napięcia łańcucha w punkcie $A2$ do 50 kN, a następnie do około 54 kN.

W podobny sposób jak dla przenośnika zgrzeblowego próżnego, wyznaczono prędkość fali naprężenia w łańcuchu zgrzeblowym przenośnika wypełnionego urobkiem. Posłużono się

tutaj oscylogramem nr 0206 oraz nr 0208. W tym pomiarze odległość pomiędzy czujnikami A2 i B2 wynosiła $\Delta L = 117,81$ m. Wyznaczone prędkości fali naprężenia dla łańcucha $2 \times \phi 34 \times 126$ mm zestawiono w tabelicy 2.



Rys. 5. Powiększony komputerowo fragment oscylogramu nr 0105 z badań ścianowego przenośnika zgrzeblowego typu Joy-Longwall 800; wycinek dotyczy zmian sił napięcia w łańcuchach; 1 – czujnik B2, 2 – czujnik B1, 3 – czujnik A2

Fig. 5. Digitally enlarged fragments of oscillogram no. 0105 from the research of an armoured face conveyor type Joy-longwall 800. Fragment presenting the change in tension of the chains. 1 – sensor B2; 2 – sensor B1; 3 – sensor A2 (stress force $\times 10$ kN)

Prędkość fali naprężenia obliczona ze wzoru (13) dla $m_{jg} = 88,06$ kg/m (przenośnik poziomy), $E = 5,2 \cdot 10^3$ kN/cm², $F = 18,16$ cm² wynosi $c_{gpp} = 1040$ m/s

Wyliczona prędkość fali naprężenia wynikająca z efektu poligonowego jest więc nieznacznie wyższa od zmierzonej dla siły napięcia łańcucha wynoszącej około 50 kN. W tym też przypadku łańcuch zachowuje się jak idealny pręt sprężysty. Wyniku tego należało się spodziewać.

Natomiast w przypadku przenośnika załadowanego urobkiem, niezbędne jest skorzystanie ze zmienionego wzoru (13) na prędkość fali naprężenia w górnej gałęzi przenośnika. Zatem dla $q_u = 300$ kg/m oraz $c_u = 0,4$ uzyskuje się: $c_{gpu} = 675$ m/s, a więc wynik jest zbliżony do uzyskanego z pomiarów dla bardzo dużej siły napięcia łańcucha (142 kN).

Tablica 2

Wyznaczona z pomiarów prędkość fali naprężenia w łańcuchu zgrzeblowym $2 \times \phi 34 \times 126$ mm

Stan przenośnika zgrzeblowego	Numer oscylogramu	Odległość między czujnikami A2 i B2, m	Wyznaczony czas przebiegu fali Δt , s	Siła napięcia łańcucha S_{sr}/S_{A2} , kN	Prędkość fali naprężenia w łańcuchu c_{gpp} , c_{gpu} , m/s
Przenośnik próżny	0105	120,87	0,13	13,4/41	930
	0106	120,87	0,118	40/50	1025
			0,12	40/50	1010
Przenośnik załadowany urobkiem	0206	117,81	0,137	86/134	860
	0208	117,81	0,128	86/134	920
			0,177	107/142	670

Ponieważ siła napięcia łańcucha w punkcie A2, jest większa od siły w punkcie B2, zatem określone wartości prędkości fali naprężenia są wartościami przypisanymi średniej sile napięcia łańcucha $S_{sr} = (S_{A2} + S_{B2})/2$, kN.

Prędkość fali naprężenia, będąca wynikiem efektu poligonowego dla przenośnika próżnego c_{gpp} , maleje nieznacznie ze spadkiem siły napięcia łańcucha. Natomiast prędkość tej fali w przenośniku obciążonym urobkiem w ilości 300 kg/m maleje ze wzrostem siły napięcia łańcucha, a więc w kierunku od zwrotni do wysypu. Prędkość ta jest także mniejsza od prędkości w przenośniku nieobciążonym urobkiem. Najniższą wartość c_{gpu} można uzyskać ze wzoru (13) dla $c_u = 1$, zatem:

$$c_{gpu \min} = \left\{ 94,4 \cdot 10^6 / (88,06 + 300) \right\}^{1/2} \approx 500 \text{ m/s}$$

co oznacza, że udział w drganiach bierze cały łańcuch i cały urobek spoczywający na przenośniku, są to jednak warunki ekstremalne.

5. Wnioski

Z przeprowadzonych badań i analizy prędkości fali naprężenia, przemieszczającej się w łańcuchu zgrzeblowym ścianowego przenośnika zgrzeblowego, wynika, że:

- prędkość fali wywołana efektem poligonowym jest większa od prędkości fali wywołanej rozruchem bezpośrednim łańcucha zgrzeblowego w nieobciążonym urobkiem przenośnika, a ta z kolei jest większa od prędkości fali wywołanej rozruchem łagodnym przenośnika obciążonego urobkiem,

- istnieje wysoka zgodność otrzymanych na drodze teoretycznej i eksperymentalnej wyników dotyczących prędkości fali naprężenia wywołanych rozruchem przenośnika, analogiczny wniosek dotyczy prędkości fali naprężenia wywołanej efektem poligonowym,
- prędkość fali naprężenia przemieszczającej się w łańcuchu zgrzeblowym w czasie rozruchu przenośnika można określić, z dokładnością wymaganą w obliczeniach technicznych, korzystając z zależności (11) lub (12), natomiast prędkość fali naprężenia wywołaną efektem poligonowym z zależności (13).

LITERATURA

1. Antoniak J., Suchoń J.: Górnictwo przenośniki zgrzeblowe. Wydawn. Śląsk Katowice 1983.
2. Antoniak J., Lutyński A. i inni: Badania przemysłowe przenośników zgrzeblowych. Prace niepublikowane. KWK Piast, FMG Rybnik, DBT, Voith, Elgór-Hansen, Pol. Śląska, Gliwice 1994-2001.
3. Lutyński A., Gąsior S.: Prędkość rozchodzenia się fali sprężystej w ciągu przenośnika zgrzeblowego. IV M. K. „Nowoczesne przenośniki dla węglowego górnictwa podziemnego”. Pol. Śląska, IMG, Ustroń 2001.
4. Štokman I. G.: Dynamika tjagowych cepiej rudnicznych konwiejerow. Ugletechizdat, Moskwa 1959.

Recenzent: Dr hab. inż. Roman Jabłoński, prof. nzw. AGH