

Józef Suchoń

PRĘDKOŚĆ ROZCHODZENIA SIĘ FAL SPRĘŻYSTYCH  
W CIĘGNACH PRZENOŚNIKÓW ZGRZEBŁOWYCH

Streszczenie. W pracy podano zależności na określenie prędkości rozchodzenia się fal sprężystych w cięgnach łańcuchowych przenośników zgrzebłowych, przedstawiono wyniki obliczeń i pomiarów prędkości fali sprężystej w nieobciążonych i obciążonych cięgnach, podano przyczyny istniejących różnic oraz praktyczne wnioski.

W celu określenia okresu drgań własnych oraz określenia obciążeń dynamicznych w cięgnach łańcuchowych przenośników zgrzebłowych konieczna jest znajomość prędkości rozchodzenia się fal sprężystych (dźwięku) w tych cięgnach. Ponieważ jako model cięgna łańcuchowego przyjmuje się pręt sprężysty o stałym przekroju poprzecznym [1], [2], [3], [5], [6], prędkość rozchodzenia się fal sprężystych w cięgnie liczy się tak jak dla pręta, tj. ze wzoru:

$$a_1 = \sqrt{\frac{E_0 \cdot g}{q_2}} = \sqrt{\frac{1 E_0 g}{q_2}} \quad (1)$$

Jeśli cięgno łańcuchowe załadowane jest urobkiem, to prędkość fali sprężystej można obliczyć z zależności:

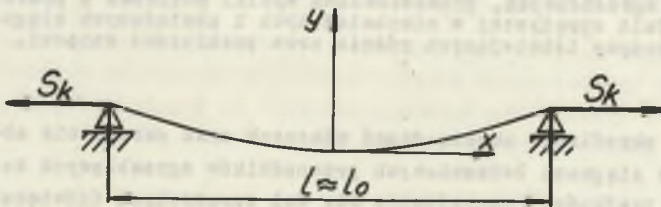
$$a_2 = \sqrt{\frac{1 E_0 g}{q_2 + \theta q_u}} \quad (2)$$

gdzie:

- $a_1, a_2$  - prędkość rozchodzenia się fal sprężystych w nieobciążonym i obciążonym cięgnie łańcuchowym, m/s,
- 1 - liczba pasm (łańcuchów) w cięgnie,
- $q_2$  - ciężar jednostkowy cięgna łańcuchowego, N/m,
- $q_u$  - obciążenie jednostkowe cięgna urobkiem, N/m,
- $E_0$  - sztywność cięgna, N,
- $E_0$  - sztywność łańcucha [4], N,

- $g$  - przyspieszenie ziemskie,  $m/s^2$ ,  
 $\alpha$  - współczynnik udziału urobku w drganiach  
 (dla węgla [6]  $\alpha = 0,3 - 0,5$ ).

Wyniki otrzymane ze wzoru (1) nie pokrywają się jednak z wynikami eksperymentalnymi. I.G. Sztokman [6], który zajmował się tą problematyką zaproponował w związku z tym, aby wyniki otrzymane ze wzoru (1) pomniejszać o 20%. Ogólnie korekta ta pozwala zmniejszyć istniejące różnice, ale nie w każdym przypadku i nie w jednakowym stopniu. Dotyczy to szczególnie dolnej gałęzi cięgna przenośnikowego, ponieważ ciężno łańcuchowe może mieć tam dość znaczny zwis (rys. 1).



Rys. 1

Przybliżająco linię zwisu łańcucha zwaną linią łańcuchową lub katenoidą

$$y = \frac{S_k}{21q_1} \left( e^{\frac{xq_1}{S_k}} - e^{-\frac{xq_1}{S_k}} \right)$$

do paraboli  $y = \frac{q_1}{2S_k} x^2$  I.G. Sztokman [5] wyprowadził następującą zależność na prędkość rozchodzenia się fali sprężystej dla jednopasmowego ciężnego gałęzi dolnej:

$$a_{1k} = \sqrt{\frac{12S_k^3 E_0 g}{(q_1^2 l_0^2 E_0 + 12S_k^3) q_2}} \quad (3)$$

Dla ciężen wielopasmowych przy założeniu równomiernego rozkładu obciążenia wzór ten przybierze postać:

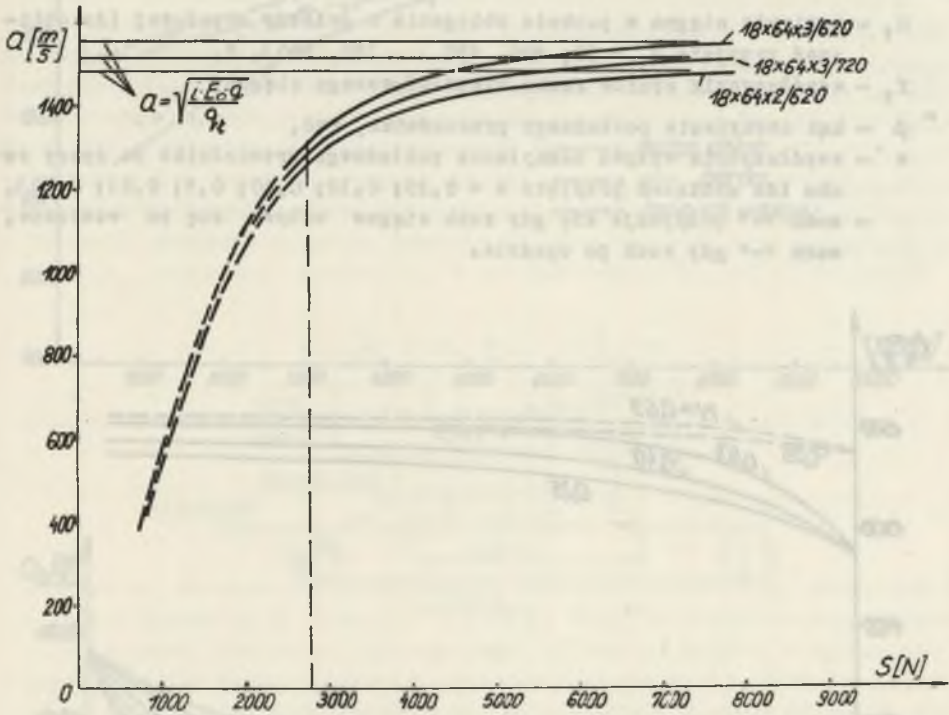
$$a_{1k} = \sqrt{\frac{12\left(\frac{S_k}{l}\right)^2 E_0 g}{\left[q_1^2 l_0^2 E_0 + 12\left(\frac{S_k}{l}\right)^3 q_2\right]}} \quad (4)$$

gdzie:

$a_k$  - prędkość fali sprężystej w k-tym odcinku ciężna, m/s,

$S_k$  - suma sił w łańcuchach k-tego odcinka ciężna, N,

$q_1$  - ciężar jednostkowy zwisającego odcinka łańcucha (bez zgrzebeł), N



Rys. 2

Prędkość średnią rozchodzenia się fal sprężystych w ciężnie składającym się z  $n$  odcinków określić można z zależności:

$$a_{1 \text{ sr}} = \frac{n}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{a_{1k}}} \quad (5)$$

W Instytucie Mechanizacji Górniczej Politechniki Śląskiej wykonano przy użyciu maszyny ofrowej obliczenia  $a_{1k}$  (rys. 2) i  $a_{1 \text{ sr}}$  (rys. 3) dla trójpasowego ciężna przenośnika Śląsk-67 ( $18 \times 64 \times 3 / 620$ ),  $q_2 = 276$  N/m,  $q_1 = 65$  N/m,  $l_0 = 1,024$  m,  $E_0 = 2,26 \cdot 10^7$  N,  $i = 3$ .

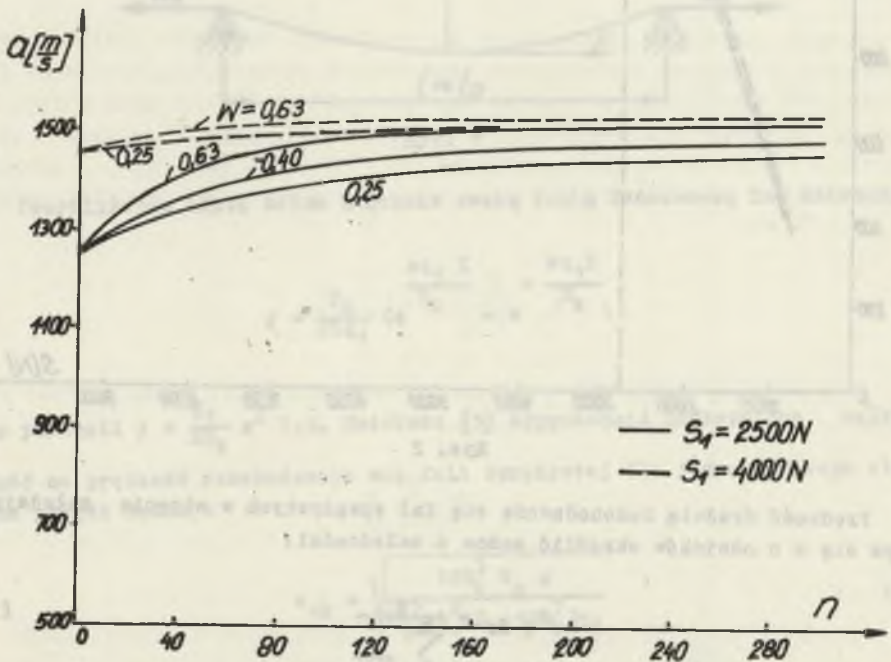


Siłę w poszczególnych odcinkach ciężna określono z zależności:

$$S_k = S_1 + k \cdot q_x \cdot l_0 (f_1 \cos \beta \pm \sin \beta) = S_1 + k \cdot q_x \cdot l_0 \cdot w \quad (6)$$

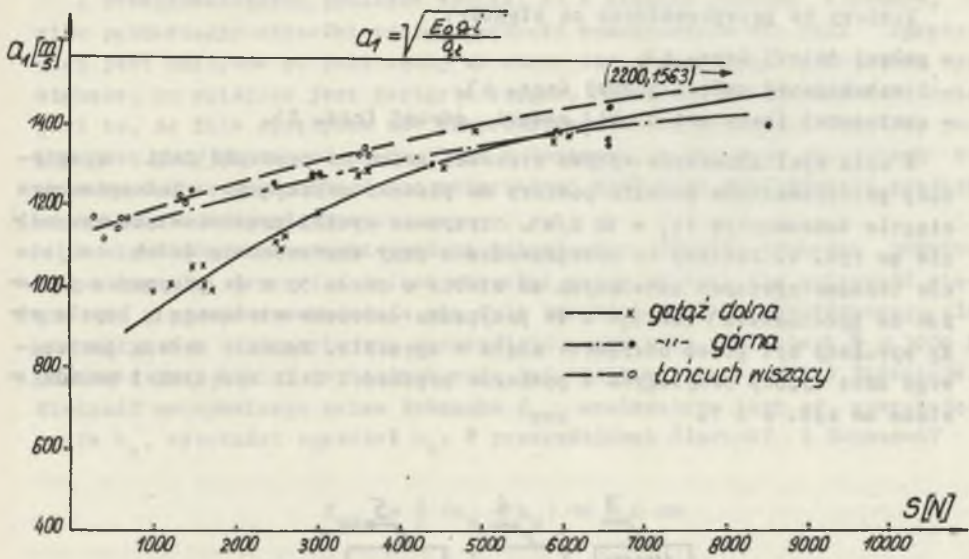
gdzie:

- $S_1$  - napięcie ciężna w punkcie zbiegania z gwiazdy napędowej (do obliczeń przyjęto  $S_1 = 50, 100, 150 \dots 350, 400$ ), N,
- $f_1$  - współczynnik oporów ruchu niezaladowanego ciężna,
- $\beta$  - kąt nachylenia podłużnego przenośnika, rad,
- $w$  - współczynnik wpływu nachylenia podłużnego przenośnika na opory ruchu (do obliczeń przyjęto  $w = 0,25; 0,32; 0,40; 0,5; 0,63; 0,80$ ),
- znak "+" przyjmuje się gdy ruch ciężna odbywa się po wzniosie, znak "-" gdy ruch po upadzie.

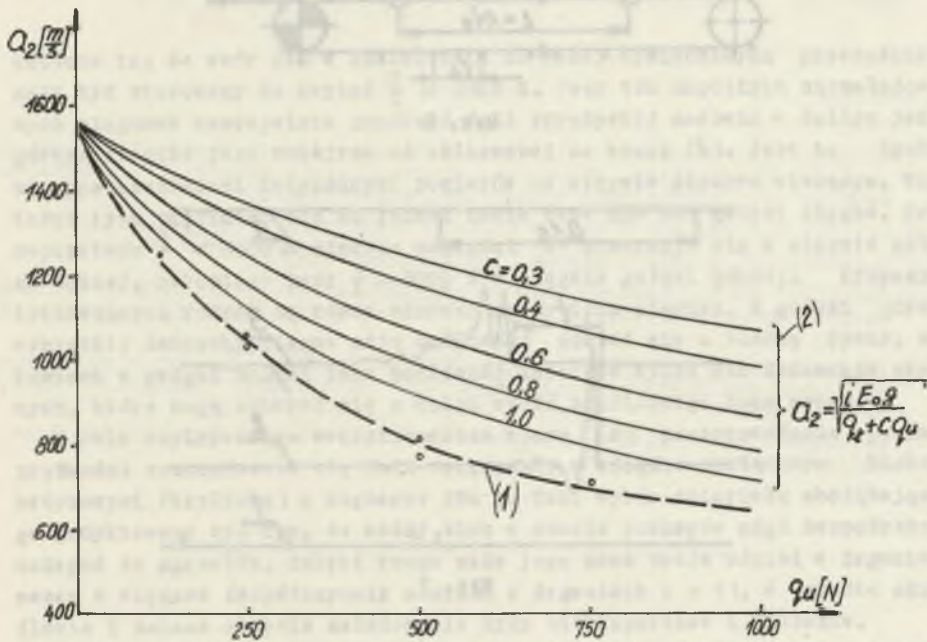


Rys. 3

Oprócz obliczeń przeprowadzono również pomiary prędkości rozchodzenia się fali sprężystej na jednonapędowym przenośniku zgrzeblowym "Śląsk-67" z ciężna, którego parametry zostały już wcześniej podane.



Rys. 4

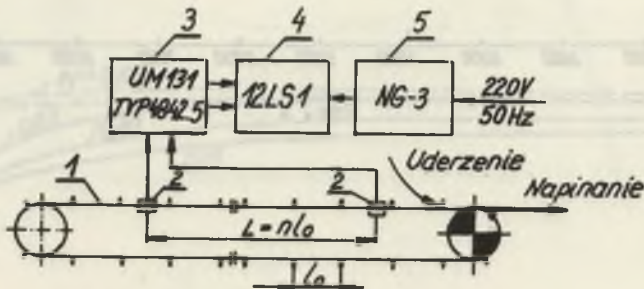


Rys. 5

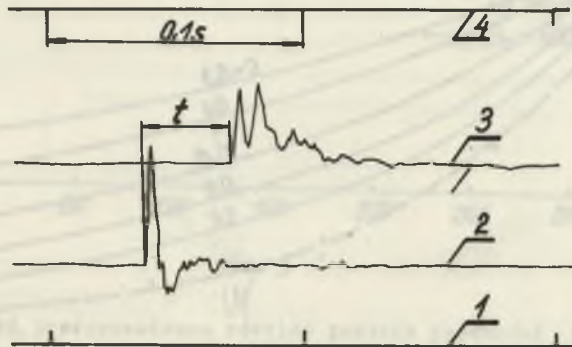
Pomiary te przeprowadzono na ciężnie:

- gałęzi dolnej (rys. 4),
- nieobciążonej gałęzi górnej (rys. 4),
- obciążonej (betonowe bloki) gałęzi górnej (rys. 5).

W celu wyeliminowania wpływu strzałki zwisu na prędkość fali sprężystej przeprowadzono ponadto pomiary na pionowo wiszącym jednopasmowym ciężnie łańcuchowym ( $q_2 = 92 \text{ N/m}$ ). Otrzymane wyniki przedstawiono wykreślnie na rys. 4. Pomiary te przeprowadzono przy zastosowaniu dwóch oszuńników tensometrycznych oddalonych od siebie o około 50 m (w przypadku pomiarów na przenośniku) lub 5,6 m (w przypadku łańcucha wiszącego). Impuls siły wywołany był przez uderzenie młota w zgrzebło. Schemat układu pomiarowego oraz typowy osylogram z pomiarów prędkości fali sprężystej przedstawiono na rys. 6 i 7.



Rys. 6



Rys. 7



Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że w ciężnie pionowo wiszącym, a więc pozbawionym strzałki zwisu, prędkość rozchodzenia się fali sprężystej jest mniejsza od obliczonej ze wzoru (1). Występujące różnice są tym większe, im mniejsze jest napięcie ciężna. Powodem istniejących różnic jest to, że fala sprężysta nie rozprzestrzenia się w ośrodku ciągłym, jakim jest przyjęty model pręta, lecz w łańcuchu, w którym w przegubach ogniw na skutek braku ciągłości materialnej następuje zmniejszenie prędkości odkształceń sprężystych.

W niezaladowanym ciężnie gałęzi dolnej oraz górnej dochodzi ponadto wpływ strzałki zwisu (ze zmianą strzałki zwisu zmienia się sztywność ciężna) na prędkość rozchodzenia się fali sprężystej. Dla rozpatrywanego ciężna wpływ ten uwidacznia się szczególnie mocno przy napięciach  $\frac{S}{T} < 3000$  N, ponieważ przy takich napięciach mają już miejsce istotne zwisy łańcuchów. Wielkość maksymalnego zwisu łańcucha  $f_{\max}$  uzależniona jest od szerokości ogniw  $h_0$ , wysokości zgrzebeł  $h_z$ . W przenośnikach Śląsk-67 i Samson-67

$$f_{\max} = \frac{1}{2} (h_z - h_0) \approx 3,0 \text{ mm}$$

Ponieważ strzałkę zwisu łańcucha [5] określić można z zależności

$$f = \frac{1}{8S} q_1 \cdot l^2 \quad (7)$$

oznacza to, że wzór (4) w odniesieniu do wyżej wymienionych przenośników może być stosowany do napięć  $\frac{S}{T} > 2800$  N. Przy tak napiętych niezaladowanych ciężnach rzeczywista prędkość fali sprężystej zarówno w dolnym jak i górnym ciężnie jest mniejsza od obliczonej ze wzoru (4). Jest to zgodne ze spostrzeżeniami dotyczącymi pomiarów na ciężnie pionowo wiszącym. Wartości tych prędkości nie są jednak takie same dla obu gałęzi ciężna. Przy napięciach  $\frac{S}{T} < 5000$  N większe wartości "a" obserwuje się w ciężnie gałęzi dolnej, natomiast przy  $\frac{S}{T} > 5000$  N w ciężnie gałęzi górnej. Przyczyną istniejących różnic są różne warunki pracy tych ciężni. W gałęzi górnej wszystkie łańcuchy ciężna mają możliwość oprzeć się o białę rywny, natomiast w gałęzi dolnej taka możliwość istnieje tylko dla łańcuchów skrajnych, które mogą opierać się o dolną część profilowego boku rywny.

W celu empirycznego zweryfikowania wzoru (2) przeprowadzono pomiary prędkości rozchodzenia się fali sprężystej w ciężnie obojżonymi blokami betonowymi (trylinką) o ciężarze 258 N. Taki wybór materiału obojżającego podyktowany był tym, że każdy blok w czasie pomiarów mógł bezpośrednio dolegać do zgrzebla, dzięki czemu cała jego masa brała udział w drganiach razem z ciężnem (współczynnik udziału w drganiach  $\alpha = 1$ ), a ponadto określenie i zmiana stopnia zaladowania były niekłopotliwe i dokładne.

Na rys. 5 przedstawiono wykreślenie wyniki pomiarów (krzywa 1) i obliczeń (krzywa 2) prędkości rozchodzenia się fali sprężystej w obojżonym

cięgnie łańcuchowym. Z rysunku tego widać, że istniejące tu różnice nie są już tak duże (do około 10%) jak dla cięgna niezaladowanego (przy małych napięciach błąd może wynosić nawet 40%) i dlatego wzór (2) w przeciętności do wzoru (1) może być stosowany do obliczeń prędkości rozchodzenia się fali sprężystej.

Przy pomiarach prędkości rozchodzenia się fali sprężystej w obciążonym cięgnie łańcuchowym nie uwzględniono wpływu napięcia cięgna, ponieważ cięgna obciążone urobkiem mają zwykle znaczne napięcia, przy których, jak to wykazały poprzednie obliczenia i pomiary, istniejące błędy są nieduże.

### Wnioski

1. Prędkość rozchodzenia się fali sprężystej w cięgnach łańcuchowych jest zależna od napięcia cięgna.
2. Prędkość rozchodzenia się fal sprężystych w nieobciążonym cięgnie gałęzi górnej i dolnej nie jest jednakowa.
3. Średnia prędkość rozchodzenia się fali sprężystej w nieobciążonych cięgnach łańcuchowych należy określać empirycznie. Obliczanie prędkości fali ze wzoru (5) daje lepsze rezultaty niż ze wzoru (1).
4. Do określenia fali sprężystej w obciążonych cięgnach można stosować wzór (2).

### LITERATURA

- [1] Czugriew L.: Dinamiczeskije uprawnienija gwiżenija skriebkowo konwiejera s gidropriwodom. Razrabotka miestrożdienij poleżnych iskopajemych nr 29. Izdatielstwo "Tiechnika, Kijew 1972 r.
- [2] Kaliski S.: Drgania i fale w ciałach stałych, PWN Warszawa 1966 r.
- [3] Kożeński J.: Dynamika maszyn. PWN Warszawa 1963 r.
- [4] Rynik J.: Analityczno-empiryczne określenie statycznej sztywności łańcuchów ogniowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górniczo Nr 36.
- [5] Sztokman I.G.: O skorosti rasprastranienija uprugoj wołny w skriebkowej olepi pri naliczi prowisajuszozich uczastkow. Uglietiechizdat. Moskwa 1954.
- [6] Sztokman I.G.: Dinamika tjagowych olepiej rudnicznych konwiejerow. Uglietiechizdat. 1959 r.



СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН В ТЯГОВЫХ ЦЕПЯХ  
СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ

## Резюме

В статье представлены зависимости, определяющие скорость распространения упругих волн в тяговых цепях скребковых конвейеров, результаты вычислений и измерений скорости упругой волны в нагруженных и ненагруженных цепях, причины существующих разниц и практические выводы.

THE VELOCITY OF THE PROPAGATION OF ELASTIC WAVES IN THE CHAINS  
OF PUSH-PLATE CONVEYORS

## Summary

There has been presented a formula for the determination of the velocity of the propagation of elastic waves in the chains of push-plate conveyors. The paper contains also the results of computations and measurements of the velocity of elastic waves both in loaded and unloaded chains. Moreover, the reasons for the existing differences have been suggested and practical conclusions have been drawn.