

Józef PARCHAŃSKI¹
Dwayne DAVID²

MODEL ŁUKU PRZENOŚNIKA I WYNIKI SYMULACYJNYCH BADAŃ NAPRĘŻEŃ W OGNIWIE ŁAŃCUCHA

Streszczenie. Opracowano fizyczny model łuku toru przonośnika samochodów, a także opracowano cyfrowy model ogniwa typu F-100, przemieszczającego się po rolkach na łuku toru przonośnika. Symulacyjne badania naprężeń w ogniwie przeprowadzono metodą elementów skończonych za pomocą programu PROMES 4.4. Wybrane wyniki badań symulacyjnych przedstawiono na rysunkach 9 i 10 oraz przeprowadzono ich analizę.

1. WSTĘP

W celu określenia przyczyny rozrywania ogniw łańcucha typu F-100, stosowanych w przonośnikach samochodów osobowych, przeprowadzono symulacyjne badania wartości naprężeń w ogniwie podczas eksploatacji ogniwa na prostym fragmencie toru przonośnika. Badania symulacyjne przeprowadzono metodą elementów skończo-

THE CONVEYOR BEND MODEL AND RESULTS OF SIMULATIONS OF STRESS WITHIN THE CHAIN LINK

Summary. A physical model of the vehicle conveyor was developed. A digital model of the F-100 chain link was created, simulating its passage over the rollers of the conveyor track. Stress simulations in accordance with the finite elements method were conducted, using the PROMES 4.4 software. The selected results of the simulation investigations are presented in Figs 9 and 10. The analysis of these results is given in the paper as well.

1. INTRODUCTION

In order to determine the root causes responsible for the bursting of the F-100 chain links, used to drive a vehicle conveyor, stress simulations were conducted to determine the value of the stress present within the chain link during exploitation on the straight sections of the conveyor track. These simulations were

¹ Politechnika Śląska, Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej

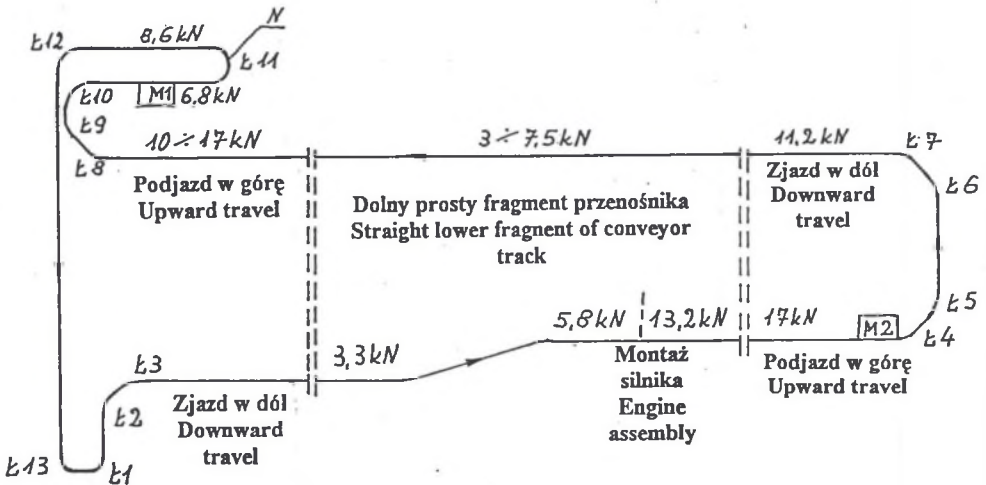
² Badacz niezależny

¹ Department of Measurement and Automatics for Electrical Engineering, Silesian Technical University, Gliwice

² Independent researcher

nych, za pomocą programu PRO-MES 4.4. Wyniki badań podano w artykule [1].

Za pomocą zaprojektowanego i wykonanego przetwornika, zainstalowanego w łańcuchu przenośnika, przeprowadzono pomiary siły działającej w łańcuchu na prostych fragmentach toru przenośnika podczas produkcji samochodów. Widok z góry wybranego toru przenośnika samochodów oraz wyniki przemysłowych pomiarów średnich wartości sił działających w łańcuchu na prostych fragmentach toru przenośnika przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Siły działające w łańcuchu na prostych fragmentach przenośnika
Fig. 1. The forces acting on the chain, on the straight sections of the conveyor track

Z przeprowadzonych badań symulacyjnych oraz pomiarów przemysłowych wynika, że na prostych fragmentach toru przenośnika na ogniwa typu F-100 działają siły osiowe F (rys.2a) mniejsze niż 20 kN. Naprężenia rozciągające $\sigma_{B1} = \sigma_{B2}$ (rys.2b) na wewnętrznych powierzchniach prostych odcinków ogniwa (np. B1, B2 na rys.2a) są 3-4 razy większe niż naprężenia $\sigma_{A1} = \sigma_{A2}$

conducted using the PRO-MES 4.4 software. The results were presented in article [1].

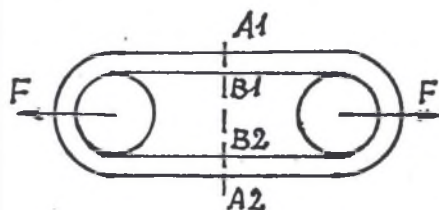
Measurements of the forces acting on the chain link on the straight sections of the chain link track were conducted using a dedicated transducer installed on the conveyor drive chain. Fig.1 shows a top view of the conveyor track as well as the average values of the forces acting on the chain on its straight sections.

The simulations and industrial measurements show that the axial forces F acting on the chain link on the straight sections of the conveyor track were less than 20 kN. See Fig.2a. The tensile stress $\sigma_{B1} = \sigma_{B2}$ (Fig. 2b) on the inner surfaces of the straight sections of the chain link (e.g. B1, B2 in Fig.2a) are 3 – 4 times larger than the tensile stress $\sigma_{A1} = \sigma_{A2}$ on

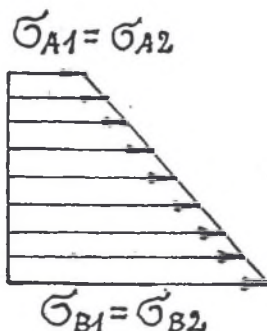
na jego powierzchniach zewnętrznych (np. A1, A2). Przy siłę $F = 20$ kN maksymalne wartości naprężeń $\sigma_{B1} = \sigma_{B2}$ wynoszą ok. 120 MPa. Są więc znacznie mniejsze niż wytrzymałość materiału, z którego wykonano ogniwa łańcucha przenośnika ($R_m \approx 880$ MPa). Aby określić przyczynę rozrywania ogniw, przeanalizowano naprężenia w ogniwie eksploatowanym na łukach toru przenośnika.

its outer surfaces e.g. A1, A2. Under a force $F = 20$ kN, the maximum tensile stress $\sigma_{B1} = \sigma_{B2}$ amounts to 120 MPa. It is thus significantly less than the tensile strength of the material of which the chain link is made ($R_m = 880$ MPa). In order to determine the causes behind the bursting of the chain link, the stress present in the chain link, while being exploited around the bend of the conveyor track, was analysed.

a)



b)



Rys.2. a) Szkic sił działających na ogniwa na prostych fragmentach przenośnika.

b) Wykres naprężeń w poprzecznym przekroju połówki ogniwa

Fig.2. a) A diagram of the forces acting on the chain link on the straight sections of the conveyor track.

b) The stress distribution throughout the cross section of the chain link

2. MODEL ŁUKU TORU PRZENOŚNIKA

Stacja N napinająca łańcuch przenośnika (rys.1), składająca się np. z 15 rolek równomiernie rozłożonych na obwodzie łuku (rys.3), na ogół stanowi łuk o największej krzywiznie. Uwzględniając odpowiednie zależności trygonometryczne kątów w trójkątach przedstawionych na rys.3, wyprowadzono wzór na siłę F_g zginającą ogniwo na łuku toru przenośnika

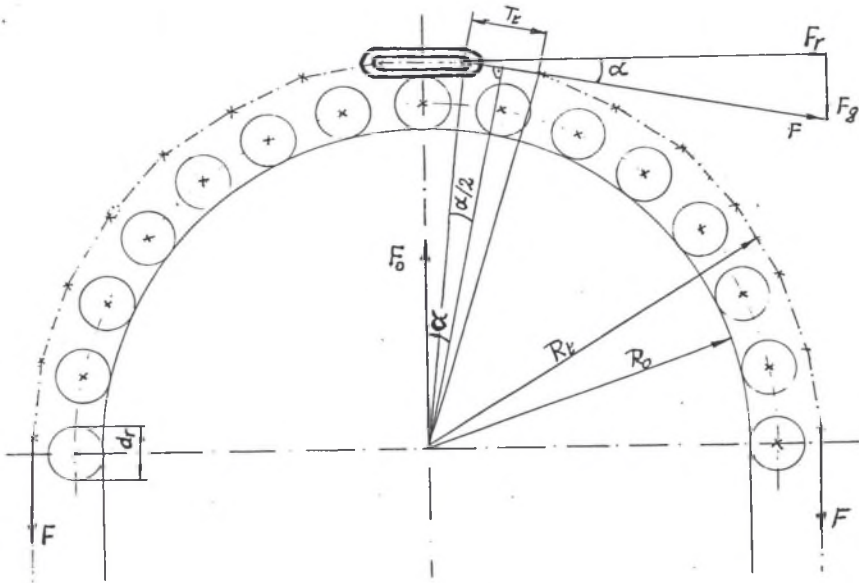
2. A MODEL OF THE BEND OF THE CONVEYOR TRACK

The arc of the tension regulating station N (Fig.1), consisting of 15 equally spaced rollers, is generally the arc of the largest curvature (Fig.3). After taking into account the various trigonometric relationships between the angles and triangles presented in Fig.3, the following formula for the bending force F_g , acting on the arc, was developed

$$F_g = 2F \frac{1}{\frac{D}{T} + \frac{T}{D}}, \quad (1)$$

przy czym F jest siłą działającą na ogniwo, D jest średnicą łuku, po którym przemieszczają się ogniwa łańcucha, T jest podziałką łańcucha.

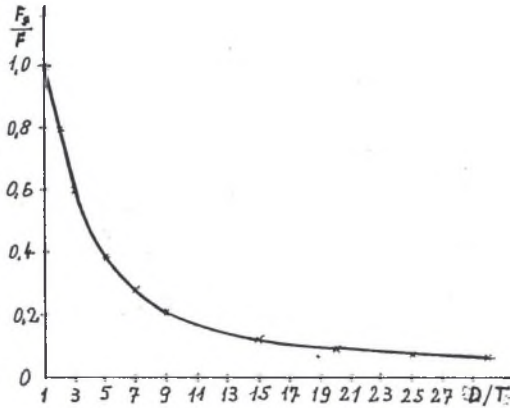
F is the force acting on the chain link. D is the diameter of the arc traversed by the chain link and T is the chain link length – increment.



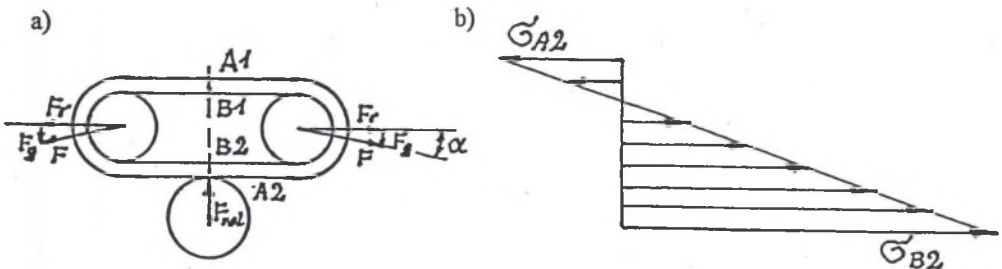
Rys.3. Rozkład sił działających na ogniwo znajdujące się na rolce na łuku przenośnika
Fig.3. The distribution of the forces acting on the chain link in contact with the rollers of the conveyor bend

Na rysunku 4 przedstawiono wykres ilorazu siły F_g do siły F w funkcji ilorazu średnicy D do podziałki T . Z wykresu wynika, że zginająca siła F_g rośnie ze wzrostem krzywizny łuku. Wykazano, że proporcjonalnie do siły F_g zginającej ogniwo rośnie naprężenie σ_{B2} (rys.5b) na wewnętrznej powierzchni B2 oraz rośnie naprężenie ściskające σ_{A2} na zewnętrznej powierzchni A2 połowki ogniwa stykającej się z rolką (rys.5a).

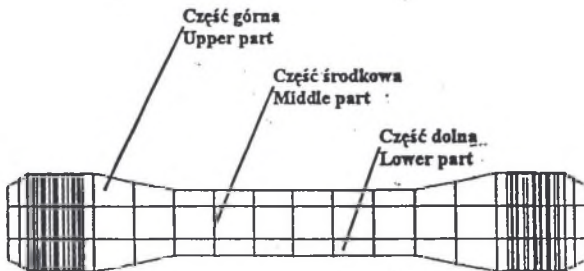
Fig.4 shows the graph of the quotient F_g and F as a function of the quotient D and T . This graph shows that the bending force F_g increases as the arc curves. It was also shown that both the tensile stress σ_{B2} on the inner surface B2 (Fig.5b) and the compressing stress σ_{A2} (Fig.5a) on the outer surface of the half of the chain link in contact with the rollers increase proportionally to the bending force F_g .



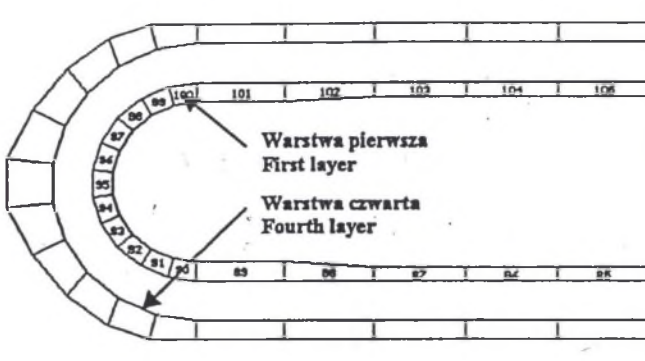
Rys.4. Wykres zależności $F_g/F = f(D/T)$
 Fig. 4. A graph of the relationship $F_g/F = f(D/T)$



Rys.5. a) Szkic sił działających na ogniwo na łuku przenośnika
 b) Wykres naprężeń w poprzecznym przekroju połowki ogniwa w miejscu nacisku na rolkę
 Fig.5. a) A diagram of the forces acting on the chain link on the bend of the conveyor
 b) A graph of the stress present in the cross section of the half of the chain link – the surface in contact with the rollers

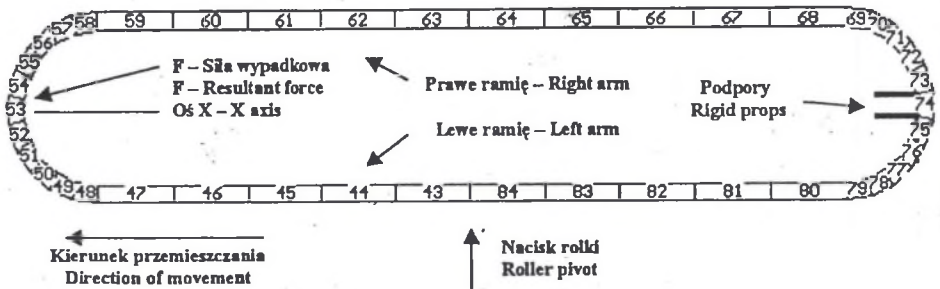


Rys.6. Podział ogniwa typu F-100 na części – widok z boku
 Fig.6. The subdivision of the F-100 chain link – side view



Rys.7. Podział ogniwa na warstwy – część górną lewej połowy ogniwa. Warstwa pierwsza ponumerowana – dla pozostałych warstw układ jest identyczny. Elementy od 1-42 → część dolna, 43-84 → część środkowa, 85-126 → część górną

Fig.7. The subdivision of the chain link into layers – the top left half of the chain link. The first layer is numbered – the layout is identical on the remaining layers. The elements numbered 1 – 42 form the bottom part, 43 – 84 form the middle part and 85 – 126 form the upper part



Rys.8. Numeracja elementów warstw – część środkową ogniwa ponumerowana – dla pozostałych warstw układ jest identyczny. Elementy od 1-42 → część dolna, 43-84 → część środkowa, 85-126 → część górną

Fig.8. The numbering of the elements of the layers – the middle part is numbered. The layout for the remaining layers is identical. The elements numbered 1 – 42 form the lower part, 43 – 84 form the middle part and 85 – 126 form the upper part

Na podstawie modeli: fizycznego (rys.3) i matematycznego (wzór (1)) opracowano cyfrowy (dyskretny) model ogniwa typu F-100 przemieszczającego się po rolkach na łuku toru przenośnika. W modelu cyfrowym ogniwo podzielono na 3 części: dolną, środkową i górną (rys.6) oraz na 4 warstwy: pierwszą (wewnętrzną), drugą,

A digital model of the F-100 chain link under exploitation around the bend of the conveyor track was developed on the basis of the physical model (Fig.3) and the formula (1) presented above. The digital model of the chain link was divided into 3 parts: lower, middle and upper (Fig.6) as well as 4 layers: the first (inner), second,

trzecią i czwartą (zewnątrzną) – rys.7. Każdą warstwę podzielono na 42 elementy (rys.8). Cyfrowy model ogniwa F-100 został zatem podzielony na 504 elementy ($3 \times 4 \times 42$).

Badania symulacyjne przeprowadzono metodą elementów skończonych za pomocą programu PRO-MES 4.4, dla siły osiowej $F = 20$ kN. Wybrane wyniki symulacyjnych badań naprężeń rozciągających w ogniwie opartym na rolce na łuku przenośnika przedstawiono na rys.9, a w ogniwie pracującym na prostym fragmencie toru przenośnika przedstawiono na rys.10.

3. WNIOSKI

Z analizy rezultatów przedstawionych badań analitycznych i symulacyjnych wynika, że w zależności od krzywizny łuku, naprężenia rozciągające istniejące na wewnętrznych powierzchniach ogniw przemieszczających się po rolkach na łukach toru przenośnika mogą być wielokrotnie większe niż wartości rozciągających naprężeń istniejących na wewnętrznych powierzchniach ogniw pracujących na prostych fragmentach przenośnika. Na przykład na prostym fragmencie przenośnika naprężenie rozciągające na wewnętrznej powierzchni elementów 43 i 84 wynosi ok. 110 MPa (rys.10a). Natomiast na łuku toru przenośnika o promieniu ok. 490 mm, na prostym odcinku połówki ogniwa bezpośrednio stykającego się rolką, naprężenie rozciągające na wewnętrznej powierzchni elementów 43 i 84 wynosi ok. 230 MPa (rys.9a).

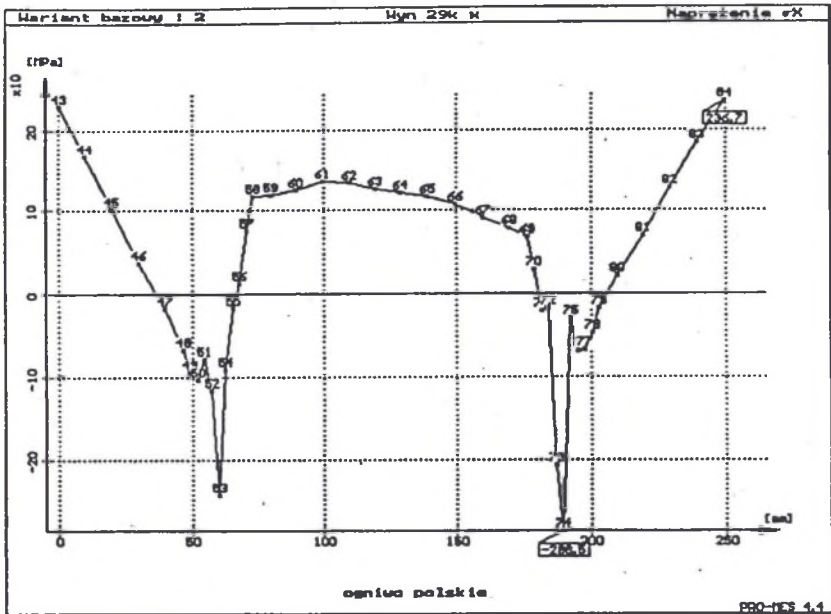
third and fourth (outer) Fig.7. Each layer was subdivided into 42 elements (Fig.8). The digital model therefore consisted of finite 504 elements ($3 \times 4 \times 42$).

The simulations were carried out using the PRO-MES 4.4 software under conditions of axial force equal $F = 20$ kN. A part of the results is shown in Fig.9. The chain link is pressed against a roller. Fig.10 shows the same results for the chain link operating on the straight fragment of the conveyor track.

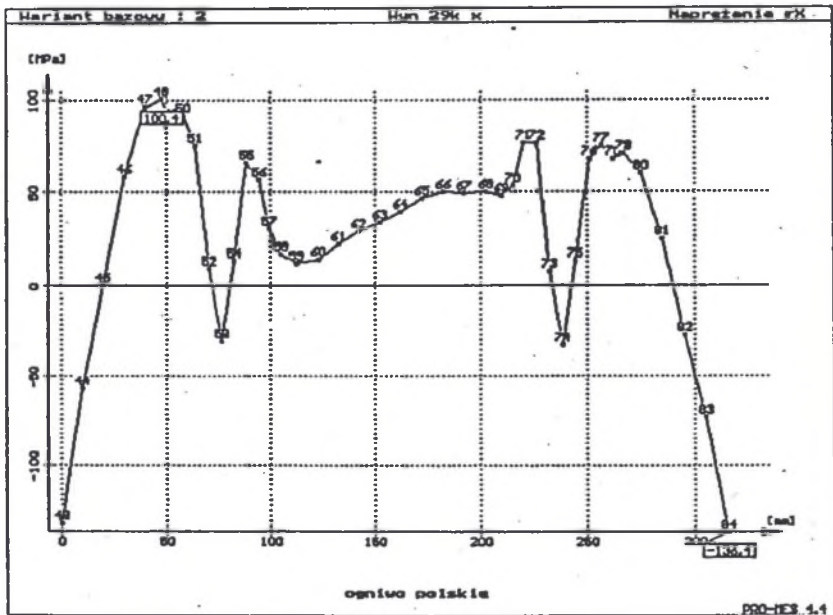
3. CONCLUSIONS

After analysing the results of the investigations presented above, it was shown that depending on the sharpness of the arc, the tensile stress existing on the inner surfaces of the chain link passing over the rollers of the conveyor bend can assume values several times greater than those of the tensile stress existing within the chain link operating on the straight fragment of the conveyor track. For example, on the straight fragment of the conveyor track, the tensile stress on the inner surface of elements 43 and 84 amount to approximately 110 MPa (Fig.10a). However, on the bend of the conveyor track of radius 490 mm, on the straight sections of the chain link directly in contact with the rollers, the tensile stress in the same elements amount to 230 MPa (Fig.9a).

a)

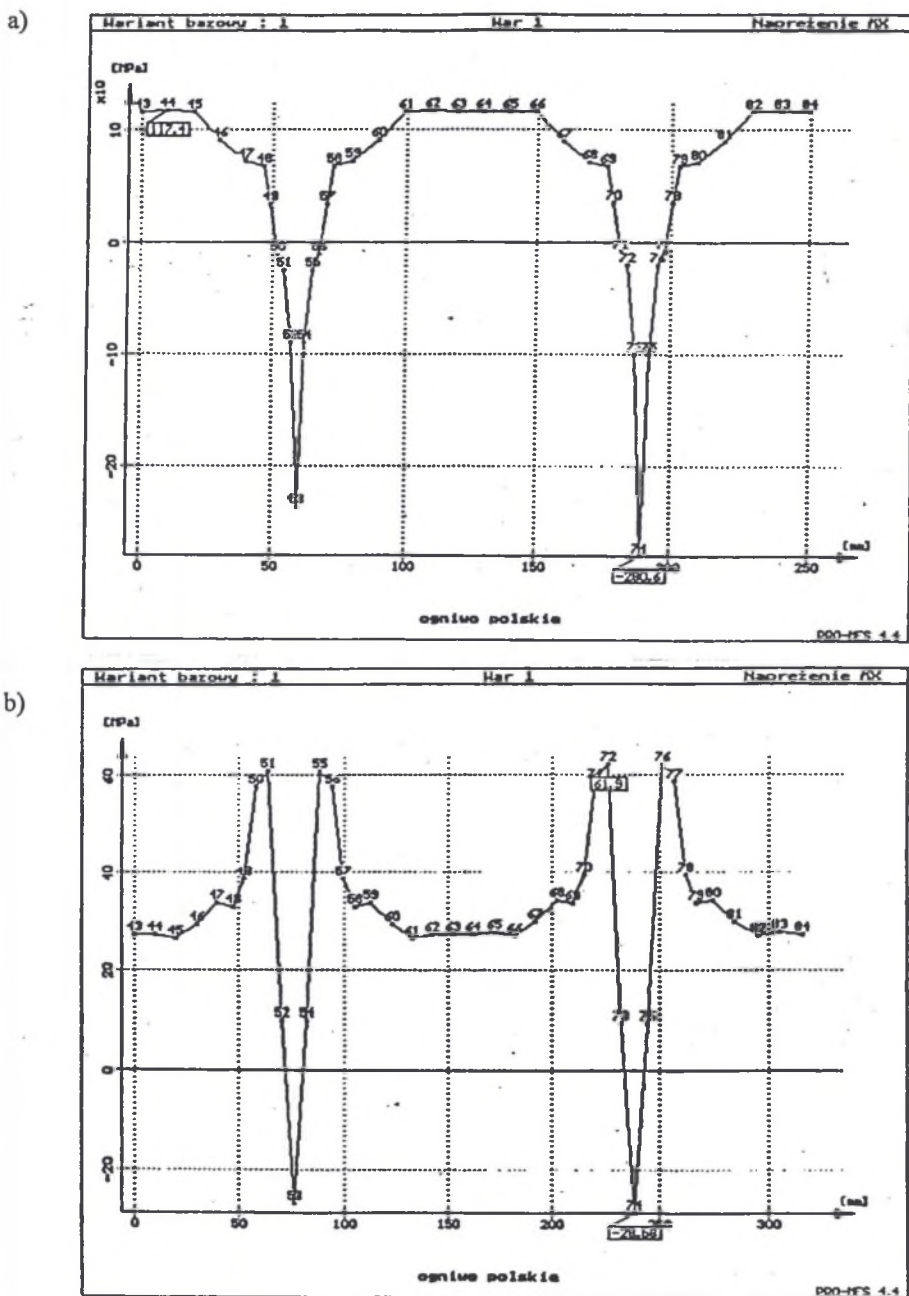


b)



Rys.9. Wykresy naprężeń σ_x środkowej części modelu ogniwa, na łuku przenosiaka: a) na wewnętrznej powierzchni pierwszej warstwy, b) na zewnętrznej powierzchni czwartej warstwy

Fig.9. A graph of the tensile stress σ_x in the middle part of the chain link model: a) on the inner surface of the first layer, b) on the outer surface of the fourth layer



Rys.10. Wykresy naprężeń rozciągających σ_x środkowej części cyfrowego modelu ogniwa na prostym fragmencie przenośnika: a) na wewnętrznej powierzchni pierwszej warstwy, b) na zewnętrznej powierzchni czwartej warstwy

Fig.10. A graph of the tensile stress σ_x in the middle part of the chain link model on the straight fragment of the conveyor track: a) on the inner surface of the first layer, b) on the outer surface of the fourth layer

Jest zatem ponad dwukrotnie większe na tych samych elementach 43 i 84, przy tej samej sile osiowej 20 kN. Przy większej krzywiznie (mniejszym promieniu) łuku, naprężenie rozciągające może być wielokrotnie większe. Na połówce ogniwa **nie** stykającego się z rolką na łuku przenośnika, na wewnętrznej powierzchni prostego odcinka ogniwa (elementy 63, 64), naprężenie rozciągające wynosi ok. 120 MPa (rys.9a) i ma wartość zbliżoną do naprężenia na elementach 63, 64 ogniwa pracującego na prostych fragmentach przenośnika przy sile osiowej 20 kN.

Należy uwzględnić, że wartości naprężeń na łukach toru przenośnika są zmienne, więc zgodnie z teorią Wöhlera, wytrzymałość materiału ogniw maleje ze wzrostem liczby cykli zmian wartości naprężeń. Po określonym czasie eksploatacji łańcucha przenośnika, maksymalne wartości istniejących naprężeń w ogniwach przemieszczających się po rolkach na łukach przenośnika, mogą być większe niż aktualna zmęczeniowa wytrzymałość materiału na rozzerwanie. Spowoduje to mikropęknięcia przy wewnętrznej powierzchni ogniw, a po dalszej eksploatacji łańcucha spowoduje rozzerwanie najsłabszego ogniwa i awarię przenośnika.

LITERATURA

1. Parchański J., David D.: Zmodyfikowane ogniwo typu F-100 jako przetwornik naprężenia i siły. ZN Pol. Śl., s. Elektryka, z. 162, Gliwice 1998, ss. 63-76.

It is more than twice as large in the same elements under the same axial force $F = 20\text{kN}$. As the arc sharpens (a smaller radius) the tensile stress may be even greater e.g. thrice greater. In the half of the chain link **not** in contact with the rollers on the bend of the conveyor track, on the inner surface of its straight sections, the tensile stress amounts to approximately 120 MPa and is similar to the stress in elements 63 and 64 of the chain link operating on the straight sections of the conveyor track under an axial force $F = 20\text{kN}$.

It should be noticed that the stress is variable in value and that in accordance with Wöhler's theory, with the increase in the number of stress fluctuation cycles within the chain link, the strength of its material decreases. After a definite exploitation period the maximum stress values within the chain link passing over the rollers may be greater than the actual dynamic strength of its composite material. This will lead to microscopic cracks developing on the inner surface and after an extended period of exploitation the chain link will burst, thus leading to a breakdown in the conveyor.

LITERATURE

1. Parchański J., David D.: A modified F-100 chain link as a stress and force transducer. ZN Pol. Śl., s. Elektryka, z. 162, Gliwice, pp. 63-76.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stefan KUBISA