

Józef MARKOWICZ
Politechnika Śląska, Gliwice

WPLYW STOPNIA ZUŻYCIA ELEMENTÓW POŁĄCZENIA PRZEGUBOWEGO NA STAN ICH WYTĘŻENIA

Streszczenie. W artykule przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów stopnia zużycia uch i sworzni połączeń przegubowych w sekcji obudowy zmechanizowanej. Analizę stanu wytężenia elementów połączenia przegubowego przeprowadzono z wykorzystaniem metody elementów skończonych. W modelu połączenia przegubowego uwzględniono problematykę kontaktu na styku pomiędzy powierzchnią sworznia i ucha.

EFFECT OF THE DEGREE OF WEAR OF ELEMENTS OF AN ARTICULATED JOINT ON THE STATE OF THEIR EFFORT

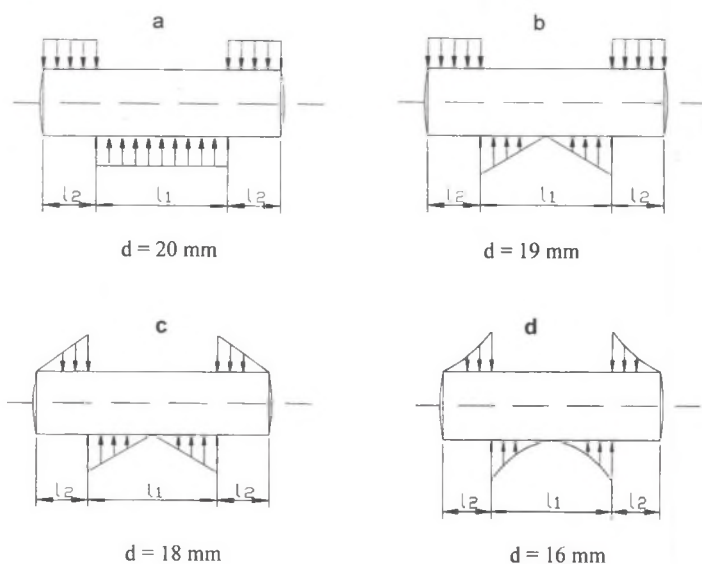
Summary. Exemplary results of measurements taken to determine the degree of wear of lugs and pins of articulated joints in a powered roof support unit have been presented in the paper. The finite element method was used for analysing of the state of effort of elements of an articulated joint. The problem of contact between the surfaces of a pin and a lug has been taken into account in the articulated joint's model.

1. Wprowadzenie

Połączenie przegubowe zalicza się do tak zwanych połączeń rozłącznych. Ogólną cechą połączeń rozłącznych jest to, że zachowują one zdolności przenoszenia obciążenia po wielokrotnym montażu i demontażu elementów składowych złącza. Połączenia rozłączne są stosowane często w podzespołach maszyn i mają decydujący wpływ na nośność całego ustroju [1, 2].

Obliczenia wytrzymałościowe sworznia oraz ucha połączenia przegubowego wykonuje się z uwzględnieniem sposobu przeniesienia obciążenia z jednego elementu na drugi. Gdy sworznie jest ciasno pasowany w otworach elementów łączonych, zakłada się, że jest on

ścienny, natomiast gdy sworzeń jest luźno pasowany, wówczas maksymalne naprężenie wyznacza się, uwzględniając jego zginanie. Ponadto, bez względu na rodzaj pasowania sworznia, sprawdza się, czy naciski powierzchniowe na powierzchni styku sworznia z elementami łączonymi nie przekraczają wartości dopuszczalnej [3]. Istotny wpływ na ostateczny wynik obliczeń wytrzymałościowych ma założony sposób przeniesienia obciążenia ze sworznia na ucho (rys. 1). Zakładając równomierny rozkład nacisków pomiędzy uchem i sworzniem (rys. 1a), otrzymuje się największą wartość momentu zginającego w sworzniu. Moment zginający jest najmniejszy, jeżeli rozkład nacisków opisany jest krzywą drugiego stopnia (rys. 2d). Przyjmując więc tę samą wartość wypadkowego obciążenia połączenia przegubowego oraz identyczne właściwości materiału, otrzymuje się różne wartości średnicy sworznia d w zależności od założonego rozkładu nacisków pomiędzy uchem i sworzniem.



Rys. 1. Wpływ modelu obciążenia połączenia przegubowego na wynik obliczeń wytrzymałościowych
 Fig. 1. Effect of a model of load acting on the articulated joint on results of calculations of the strength

Rzeczywisty rozkład nacisku pomiędzy sworzniem a uchem połączenia przegubowego zależy od sztywności tych elementów i wartości luzu pomiędzy sworzniem a uchem. Biorąc powyższe pod uwagę, poniżej przedstawiono wyniki pomiarów dokumentujące stopień zużycia elementów połączeń przegubowych w sekcjach obudowy zmechanizowanej. Wpływ

stopnia zużycia tych elementów na stan ich wyteżenia przeprowadzono na modelu połączenia przegubowego, zakładając różne wartości luzu pomiędzy uchem a sworzniem.

2. Analiza stopnia zużycia otworów połączeń przegubowych w sekcji obudowy zmechanizowanej

W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów średnic otworów w 172 spągnicach jednego typu sekcji obudowy zmechanizowanej dostarczonych do remontu. Ze względu na stopień zużycia wszystkie otwory zostały podzielone na następujące kategorie:

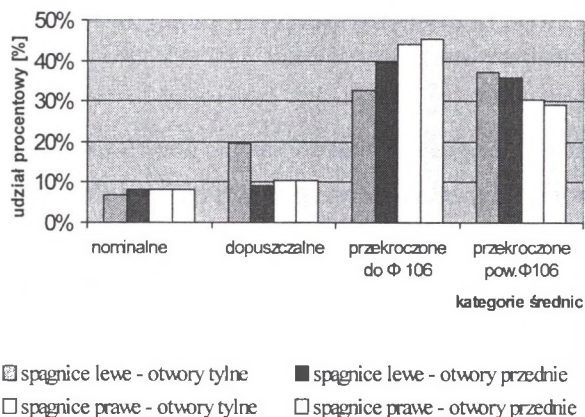
- otwory o średnicy nominalnej – ich wymiar mieści się w granicy tolerancji podanej przez producenta,
- otwory o średnicy dopuszczalnej – tolerancja przekroczona maksymalnie o 50% w stosunku do tolerancji nominalnej,
- otwory o średnicy przekroczonej – średnica otworu jest przekroczona o więcej niż 50% tolerancji nominalnej. Dla lepszego zilustrowania stopnia zużycia otworów, kategoria „przekroczone” jest podzielona na dwie grupy. Pierwszą grupę stanowią otwory, których średnica przekroczona jest o 1 mm, natomiast druga grupa to otwory, których średnica jest większa o więcej niż 1 mm w stosunku do średnicy dopuszczalnej.

Tabela 1

Zestawienie wyników pomiaru maksymalnych średnic otworów głównych połączeń przegubowych w spągnicach

Otwory połączenia z łącznikiem lemniskatowym tylnym				
średnica w [mm]	nominalna ø 104	dopuszczalna ø 105	przekroczona	
			do ø 106	powyżej ø106
liczba spągnic	28	57	141	118
Otwory połączenia z łącznikiem lemniskatowym przednim				
średnica w [mm]	nominalna ø 104	dopuszczalna ø 105	przekroczona	
			ø 106	powyżej ø106
liczba spągnic	29	38	156	121

Na rysunku 2 przedstawiono procentowe udziały poszczególnych kategorii otworów o różnym stopniu zużycia. Na ogólną liczbę 688 zmierzonych otworów w 536 (co stanowi 78%) stwierdzono przekroczenie wymiarów dopuszczalnych.



Rys. 2. Stopień zużycia analizowanych otworów połączeń przegubowych w spągnicach
Fig. 2. Degree of wear of holes of main articulated joints in bases

Stwierdzono, że wymiary nominalne występowały tylko w 57 otworach. Otworów o średnicach nominalnych było więc 9 razy mniej niż otworów o średnicach przekroczonych. Otworów o średnicach nominalnych i dopuszczalnych było łącznie około 20% (po 35 w spągnicach prawych i lewych). Istotne jest to, że stopień zużycia otworów przednich oraz tylnych jest porównywalny (zarówno w spągnicach lewych, jak i prawych). Świadczy to o równomiernym rozłożeniu obciążenia występującego podczas użytkowania sekcji obudowy na wszystkie połączenia przegubowe.

3. Wpływ luzu na stan wyęczenia elementów połączenia przegubowego

Zużycie elementów połączenia przegubowego objawia się w postaci wzrostu wartości luzu pomiędzy uchem a sworzniem. Zmiana wartości luzu w zasadniczy sposób wpływa na rozkład nacisku pomiędzy uchem a sworzniem, a więc i na stan wyęczenia tych elementów. Wpływ wartości tego luzu na sposób przekazywania obciążenia pomiędzy uchem i sworzniem oraz stan wyęczenia tych elementów przeanalizowano na klasycznym modelu

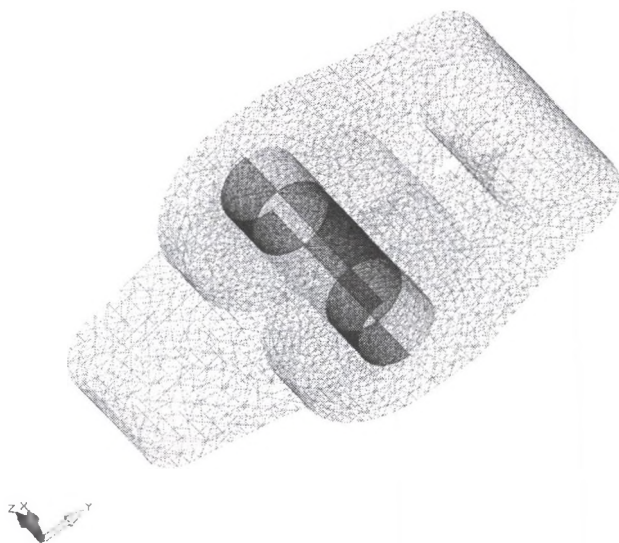
połączenia przegubowego przyjmowanego podczas obliczeń wytrzymałościowych w podstawach konstrukcji maszyn.

Modelowane połączenie przegubowe składa się z trzech części: sworznia, ucha środkowego oraz widełek. Położenie tych części względem siebie oraz podział modelu na elementy skończone przedstawiono na rys. 3. Siatka elementów skończonych została zagęszczona w miejscu przewidywanego kontaktu pomiędzy poszczególnymi częściami modelu. Na rys. 4 przedstawiono przewidywane obszary kontaktu elementów połączenia przegubowego [4]. W węzłach leżących w górnej części widełek odebrano możliwość przemieszczania się wzdłuż osi przyjętego układu współrzędnych. Ucho środkowe obciążone jest układem sił, których wypadkowa ma wartość 150 kN.



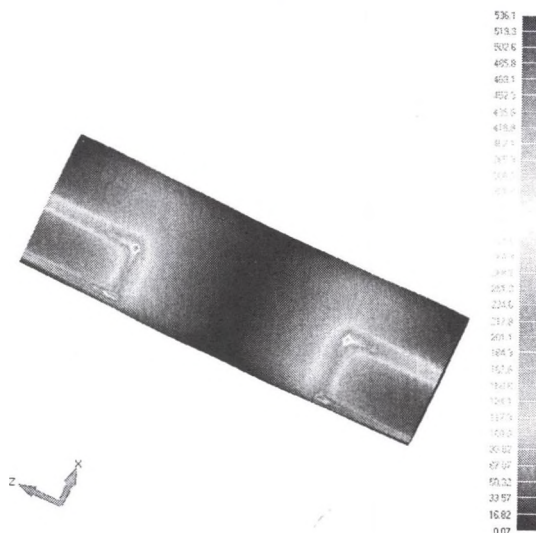
Rys. 3. Geometria i dyskretyzacja połączenia przegubowego
Fig. 3. Geometry and digitizing of an articulated joint

Obliczenia wytrzymałościowe i analizę stanu wyężenia przeprowadzono dla średnicy sworznia $d = 50$ mm. Wartość luzu pomiędzy uchem a sworzniem zmieniano od 0,4 mm do 2 mm (luz względny $\Delta d/d$ zmienił się więc w zakresie od 0,01 do 0,05).

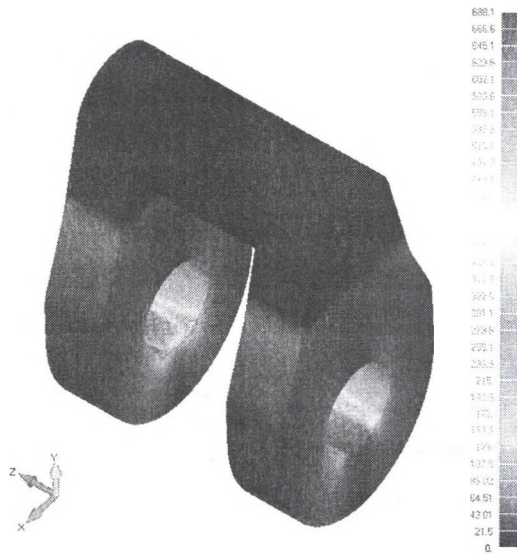


Rys. 4. Obszary kontaktu w połączeniu przegubowym
 Fig. 4. Areas of contact in an articulated joint

Na rysunku 5 przedstawiono mapę wyężenia sworznia połączenia przegubowego dla luzu wynoszącego 0,4 mm. Maksymalne napężenie zredukowane wynosi 536,1 MPa i występuje w obszarze kontaktu sworznia z widełkami połączenia. Maksymalne napężenie zredukowane w widełkach wynosi 688,1 MPa (rys. 6). Obszar o największym wyężeniu znajduje się na powierzchni otworu przy wewnętrznych krawędziach uch.



Rys. 5. Rozkład napężenia zredukowanego w sworzniu dla luzu 0,4 mm
 Fig. 5. Distribution of reduced stress in a pin in case of the clearance of 0,4 mm



Rys. 6. Rozkład naprężenia zredukowanego w widelkach dla luzu 0,4 mm

Fig. 6. Distribution of reduced stress in a knuckle in case of the clearance of 0,4 mm

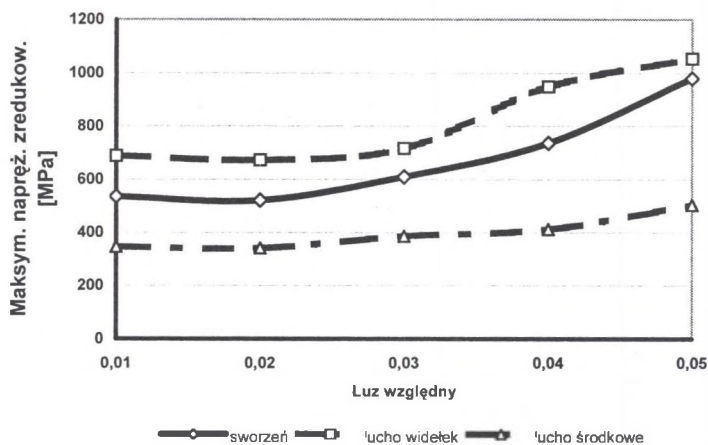
Przy najmniejszych założonych wartościach luzu (0,4 mm i 0,8 mm) wartości maksymalnego naprężenia zredukowanego w poszczególnych częściach połączenia przegubowego są porównywalne. Wraz ze wzrostem luzu rosną wartości tego naprężenia, a strefa najbardziej wytężona przemieszcza się w kierunku teoretycznej linii styku sworznia z uchem. Rozkład naprężenia zredukowanego w sworzniu dla luzu 2 mm pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Rozkład naprężenia zredukowanego w sworzniu dla luzu 2 mm

Fig. 7. Distribution of reduced stress in a pin in case of the clearance of 2 mm

Wpływ luzu względnego na wartość maksymalnego naprężenia zredukowanego przedstawiono na rys. 7. Dla analizowanej postaci konstrukcyjnej połączenia przegubowego maksymalne naprężenie zredukowane, niezależnie od luzu, występuje w uchach widełek. Istotny wzrost wartości tego naprężenie występuje, jeżeli wartość luzu względnego jest większa od 0,03.



Rys. 8. Wpływ luzu względnego na wartość maksymalnego naprężenia zredukowanego
 Fig. 8. Effect of a relative clearance on a value of the maximum reduced stress

4. Podsumowanie

Stan techniczny elementów połączenia przegubowego w istotnym stopniu wpływa na bezpieczeństwo użytkowania sekcji obudowy zmechanizowanej. Badania stopnia zużycia elementów połączenia wykazały, że podczas użytkowania sekcji występuje sukcesywny wzrost luzu pomiędzy uchem a sworzniem. Powoduje to zmianę warunków współpracy tych elementów. Należy to uwzględnić w stosowanej metodzie obliczeń wytrzymałościowych.

Wykorzystując procedury analizy nieliniowej w metodzie elementów skończonych, zamodelowano współpracę ucha i sworznia połączenia przegubowego z uwzględnieniem kontaktu na styku powierzchni tych elementów. Wykonane obliczenia wytrzymałościowe (dla wybranej postaci konstrukcyjnej połączenia przegubowego) wykazały, że poziom wyężenia elementów tego połączenia w dużym stopniu zależy od wartości luzu pomiędzy uchem a sworzniem. Istotny wzrost wartości naprężenia zredukowanego występuje dla luzu względnego większego od 0,03. Wartość luzu oraz sztywność elementów połączenia

przegubowego mają zasadniczy wpływ na określenie rzeczywistej powierzchni kontaktu pomiędzy uchem a sworzniem.

BIBLIOGRAFIA

1. Dietrich M. i in.: Podstawy konstrukcji maszyn. Tom 2, WNT, Warszawa 1999.
2. Niezgodziński M. E., Niezgodziński T.: Wytrzymałość materiałów. Wyd. IX zm. PWN, Warszawa 1998.
3. Skoć A., Spałek J.: Podstawy konstrukcji maszyn. Tom 1, WNT, Warszawa 2006.
4. FEMAP Instructions.: User Guide Version 9.3.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Sikora