

Tomasz FIGLUS, Piotr FOLEGA, Piotr CZECH, Grzegorz WOJNAR

WYKORZYSTANIE MES DO WYZNACZANIA WPLYWU PEKNIĘCIA W STOPIE ZĘBA KOŁA NA ZMIANĘ SZTYWNOŚCI ZAZĘBIENIA

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań, mających na celu wyznaczenie wpływu pęknięcia u podstawy zęba koła na zmianę sztywności koła. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem MES.

USE OF FEM FOR MARKING INFLUENCE OF CRACKING GEAR-TOOTH ON CHANGES STIFFNESS OF MESHING

Summary. The work presents results of researches aimed at calculation influence of cracking on changes of meshing stiffness of gear-tooth. The researches was done by used FEM.

1. WPROWADZENIE

Zmęczeniowemu pęknięciu u podstawy zęba koła towarzyszy spadek sztywności zazębienia. Sztywność zazębienia, zgodnie z [8], określa się jako stosunek przyrostu siły normalnej w N do przyrostu odkształcenia w μm znajdujących się w przyporze par zębów o jednostkowej szerokości równej 1 mm bezodchyłkowej przekładni. Odkształcenie to wyznacza się w kierunku prostopadłym do zarysu zęba w przekroju czołowym.

Sztywność zazębienia zależy od geometrii kół zębatych i własności fizycznych materiałów, z których są one wykonane [4].

W bibliografii można spotkać zarówno dokładne, jak i uproszczone metody wyznaczania sztywności zazębienia [2,3,5,7,8].

Jedną z metod umożliwiających wyznaczenie sztywności zazębienia jest metoda elementów skończonych (MES). Wykorzystanie MES do wyznaczenia sztywności zazębienia daje możliwość uwzględnienia wszystkich czynników występujących w kontakcie zębów kół zębatych.

W niniejszym artykule przedstawiono zastosowanie metody elementów skończonych do wyznaczenia wpływu głębokości pęknięcia w stopie zęba koła na zmianę wartości sztywności zazębienia kół zębatych. Przedstawione w opracowaniu badania są kontynuacją wstępnych eksperymentów opisanych w [3].

Otrzymane z eksperymentu wyniki umożliwiły opracowanie poprawnie działającego systemu klasyfikacji rodzaju i stopnia uszkodzeń zębów kół, wykorzystując do tego celu metody sztucznej inteligencji [1].

2. BADANIE WPLYWU PEKNIĘCIA W STOPIE ZĘBA NA ZMIANĘ SZTYWNOŚCI ZAZĘBIENIA

Wyznaczenie sztywności zazębienia za pomocą MES umożliwia uwzględnienie wszystkich czynników występujących w kontakcie zębów kół zębatych. Takie pełne podejście do zagadnienia powoduje jednak trudności numeryczne oraz stosunkowo długi czas obliczeń numerycznych. Dlatego też, po wykonaniu szeregu eksperymentów numerycznych, opracowano uproszczoną metodę wyznaczania sztywności zazębienia opartą na założeniach metody analitycznej podanej w pracy [5].

Po wygenerowaniu zarysu zęba zębniaka i koła wyznaczone są, na podstawie obliczeń numerycznych, odkształcenia w punktach przyłożenia siły, a następnie zmiany sztywności pojedynczego zęba w funkcji promienia osobno dla zębniaka i koła. Następnie, znając przebieg zmian sztywności pojedynczych zębów, można wyznaczyć sztywność zazębienia jednej pary zębów w dowolnym punkcie na linii przyporu. Gdy znana jest sztywność zazębienia jednej pary zębów, można również wyznaczyć sztywność zazębienia w przyporze wieloparowym.

Geometria zarysu profilu zęba zębniaka i koła została wyznaczona jako zbiór współrzędnych punktów w specjalnym oprogramowaniu stworzonym na Wydziale Transportu Politechniki Śląskiej. Oprogramowanie to umożliwia zgodnie z przyjętymi parametrami zębniaka lub koła (moduł, liczba zębów, korekcja itp.) wyznaczenie krzywej opisującej część ewolwentową zarysu zęba oraz kształt jego stopy zgodnie z [5].

Do stworzenia modelu numerycznego zębniaka i koła wykorzystano program Cosmos/M. Siatka o odpowiednio dobranej gęstości składała się z elementów typu PLANE2D.

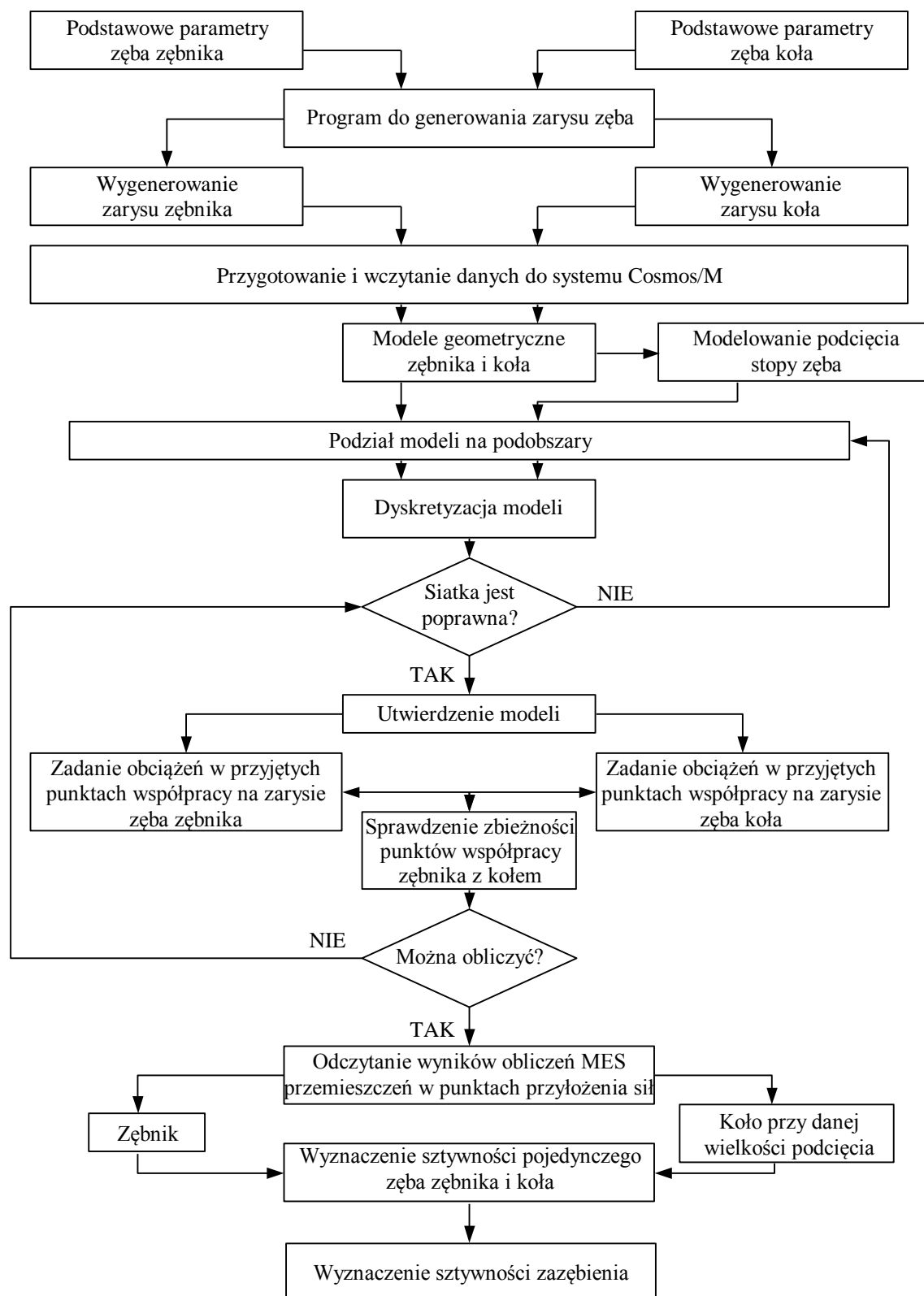
Opracowany model numeryczny uwzględniał rzeczywistą geometrię kształtu zęba oraz odkształcenie wieńca koła zębatego. W przeprowadzonych obliczeniach przy wyznaczeniu sztywności zazębienia nie uwzględniano spłaszczenia powierzchni obu zębów w kolejnych punktach styku spowodowanego kontaktem tych powierzchni [3].

Przyjęty w obliczeniach numerycznych algorytm postępowania pokazano na rys. 1.

Do badań zostały wybrane koła zębate o następujących parametrach:

- liczba zębów zębniaka $z_1 = 16$,
- liczba zębów koła $z_2 = 24$,
- kąt pochylenia linii zębów $\beta = 0 [^\circ]$,
- współczynnik przesunięcia zarysu zębniaka $x_1 = -0,864$,
- współczynnik przesunięcia zarysu koła $x_2 = -0,5$,
- szerokość kół $b_k = 20$ [mm],
- moduł normalny $m_n = 4,5$ [mm],
- odległość osi $a_o = 91,5$ [mm].

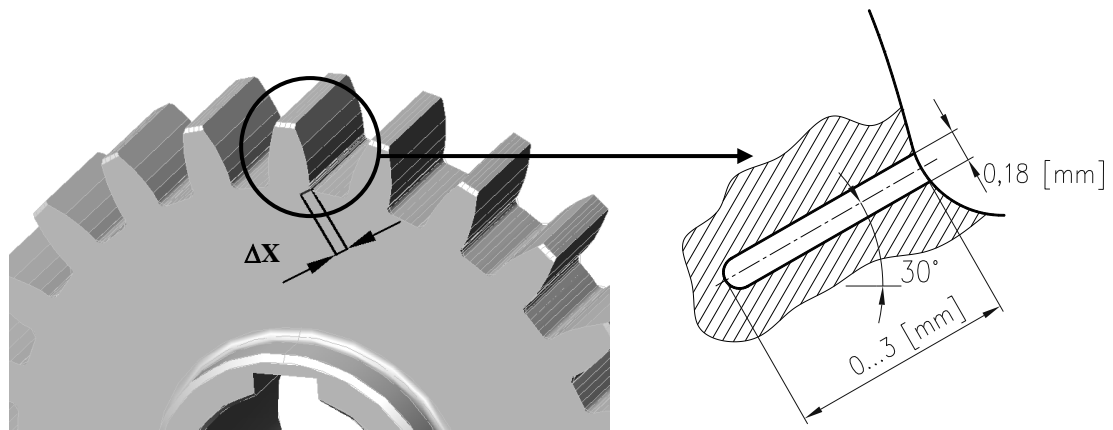
Badania przeprowadzono dla koła zębatego bez uszkodzenia oraz koła z zamodelowanym pęknięciem w stopie zęba koła. Pęknięcie w modelu zaimplementowano jako podcięcie o głębokości 0, 1 i 3 [mm]. Parametry uzyskanej szczeliny pokazano na rys. 2.



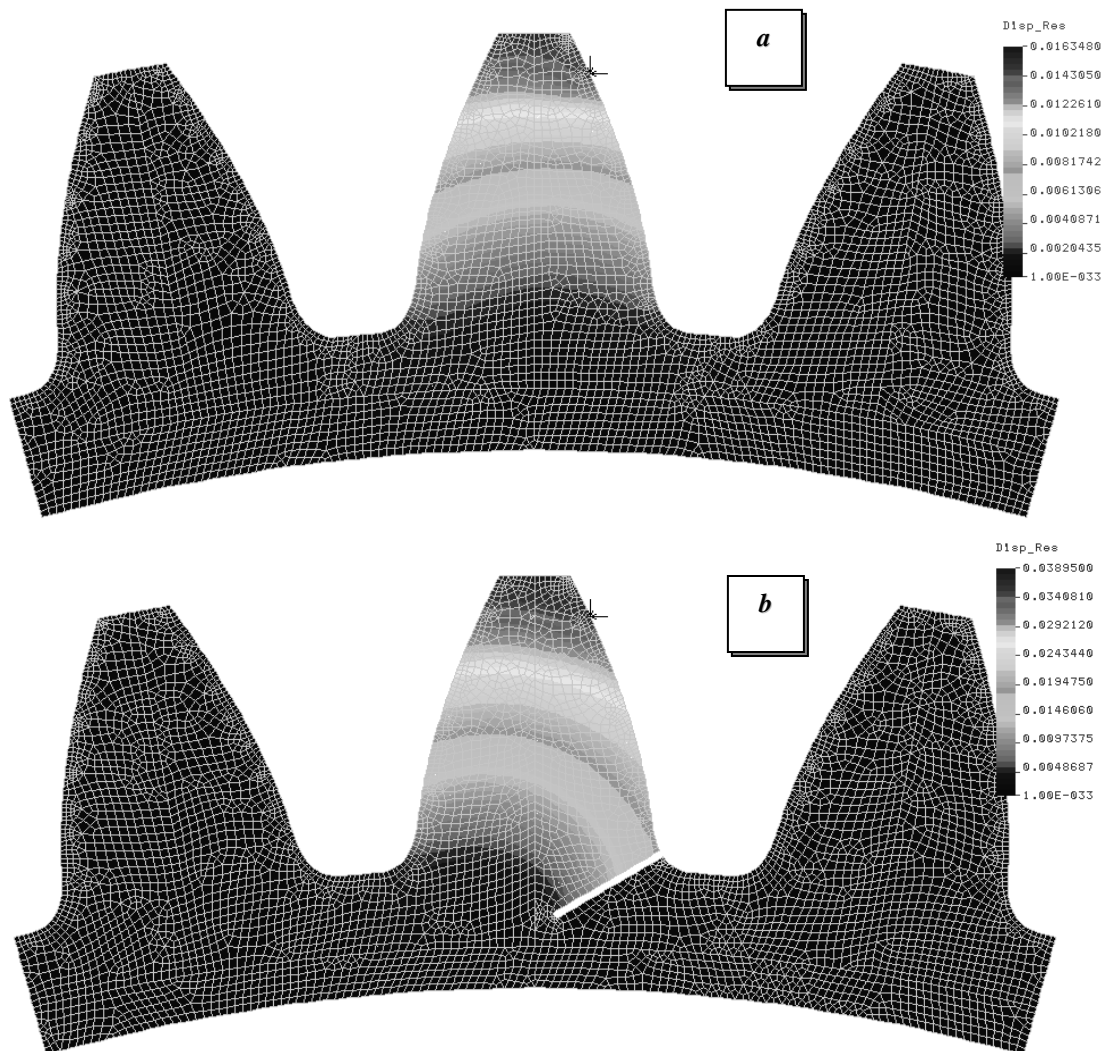
Rys. 1. Algorytm wyznaczania sztywności zazębienia z wykorzystaniem MES

Fig. 1. Algorithm of evaluate the stiffness of meshing with FEM

Przykładowe, uzyskane metodą MES, wyniki ugięcia zęba bez uszkodzenia oraz z uszkodzeniem w postaci pęknięcia w stopie zęba koła pokazano na rys. 3.



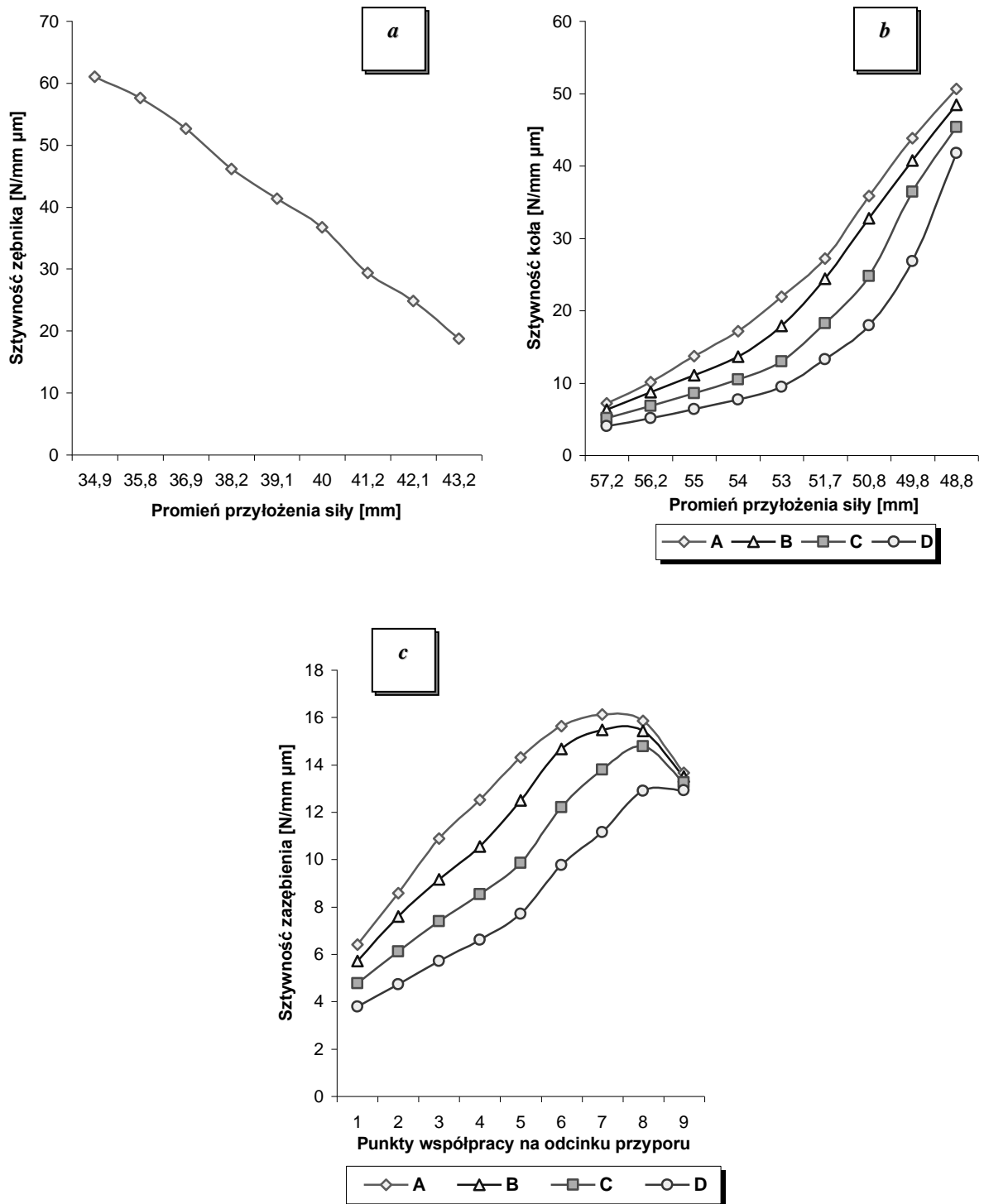
Rys. 2. Zamodelowane pęknięcie u podstawy zęba
 Fig. 2. Modeled of gear-tooth with crack



Rys. 3. Ugięcie zęba pod wpływem przyłożonej jednostkowej siły dla zęba: (a) nieuszkodzonego, (b) z zamodelowanym w stopie pęknięciem

Fig. 3. The displacement of gear-tooth under force: (a) gear-tooth without crack, (b) gear-tooth with crack

Uzyskane w eksperymencie wyniki analizy MES zmiany sztywności zębniaka, koła oraz zazębienia pod wpływem pęknięcia w stopie zęba przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Wyznaczona z użyciem MES: (a) sztywność zębniaka, (b) sztywność koła, (c) sztywność zazębienia, przy głębokości podcięcia: A – 0 [mm], B – 1 [mm], C – 2 [mm], D – 3 [mm]
 Fig. 4. Estimated by FEM: (a) stiffness of pinion tooth, (b) stiffness of gear tooth, (c) stiffness of meshing, for deep of crack: A – 0 [mm], B – 1 [mm], C – 2 [mm], D – 3 [mm]

Otrzymane w wyniku przeprowadzonego eksperymentu wyniki, obrazujące wpływ pęknięcia w stopie zęba koła na zmianę sztywności zazębienia, umożliwiły poprawną realizację pracy [1].

Bibliografia

1. Czech P.: Wykrywanie uszkodzeń przekładni zębatych za pomocą metod sztucznej inteligencji. Rozprawa doktorska. Katowice 2006.
2. Czech P., Fołęga P.: Doświadczalne wyznaczanie sztywności zębów kół. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 57, Gliwice 2005.
3. Fołęga P., Czech P., Figlus T.: Wyznaczanie sztywności zazębienia za pomocą MES. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 57, Gliwice 2005.
4. Jaśkiewicz Z., Wąsiewski A.: Przekładnie walcowe. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1992.
5. Müller L.: Przekładnie zębate. Dynamika. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1986.
6. Müller L.: Przekładnie zębate. Projektowanie. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
7. Ryś J.: Sztywność zębów prostych walcowych kół zębatych. „Przegląd Mechaniczny”, nr 10, Warszawa 1977.
8. Norma ISO/DIS 6336.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski