

Grzegorz Służalek, email: [grzegorz.sluzalek@us.edu.pl](mailto:grzegorz.sluzalek@us.edu.pl)

Piotr Duda, email: [piotr.duda@us.edu.pl](mailto:piotr.duda@us.edu.pl),

Piotr Służalek

Uniwersytet Śląski, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach

## WIZUALIZACJA POMIARÓW TRIBOLOGICZNYCH I SGP W PROGRAMIE SOLIDEDGE

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki modelowania węzłów tarcia mikroprocesorowego testera tribologicznego o skojarzeniu rolka-klocek oraz kula-tarcza produkcji ITEe-PIB w Radomiu. Modelowanie przeprowadzono dla modułu węzła tarcia uwzględniając możliwe warianty ruchu (ruch obrotowy i obrotowo-oscylacyjny) oraz rodzaje styku (styk skoncentrowany i styk rozłożony). W pracy przedstawiono też model 3D profilografometru. Uzupełnieniem są wyniki badań eksperymentalnych dla skojarzenia kula-tarcza: tribologicznych, struktury geometrycznej powierzchni (SGP) oraz pomiarów termograficznych.

## VISUALIZATION OF TRIBOLOGICAL MEASUREMENTS AND THE SGS IN SOLIDEDGE

**Abstract:** The article presents the results of microprocessor tribological friction tester modeling for roll-block and ball-disk PIB ITEe produced in Radom. The modeling was done for the module of the friction pair having possible variants of motion (rotation and rotation-oscillation) and types of contact (concentrated contact and distributed contact). The paper presents a model 3D surface profilers. Are complemented by experimental results for the friction pair ball-disk: tribological, surface geometric structure (SGS) and thermography measurements.

### 1. WPROWADZENIE

Tribologia jako nauka została w sposób formalny ukonstytuowana w 1966 r. Jest nauką interdyscyplinarną skupiającą wiedzę z wielu dziedzin nauki i techniki. Wykorzystuje osiągnięcia naukowe z szeroko rozumianej fizyki, chemii, matematyki, materiałoznawstwa i dyscyplin pokrewnych. Problematyka tribologii jest nierozzerwanie związana z postępem technicznym ludzkości od zarania dziejów, aż po dzień dzisiejszy. Przykładem może być wykorzystanie zjawiska tarcia gdzie następowała zamiana pracy mechanicznej na ciepło, do krzesania ognia.

Mimo półwiecznej historii tribologii nie powstała jeszcze spójna teoria tarcia. Wprowadzanie nowych materiałów na węzły tarcia powinno zostać poprzedzone badaniami tribologicznymi [1]. Analizując wyniki badań charakterystyk tribologicznych wybranych skojarzeń materiałowych a także środków smarnych można wnioskować o ich przydatności na węzły kinematyczne co mogłoby stanowić podstawę do dalszych rozszerzonych badań.

Testy tribologiczne najczęściej długotrwałe są bardzo wrażliwe na jakiegokolwiek zmiany parametrów warunków badań, np. temperatura otoczenia, wilgotność i stopień zanieczyszczenia powietrza. Dlatego trudno jest porównywać wyniki między nawet atestowanymi laboratoriami [2]. Aby zapewnić stałość parametrów otoczenia, laboratoria takie są wyposażane w grodzie powietrzne, systemy klimatyzacyjne do stabilizacji temperatury, systemy stabilizacji wilgotności otoczenia oraz systemy filtracyjne powietrza. Do dużego zakłócenia warunków badań może dojść w wyniku przebywania większej liczby

osób w pomieszczeniu, np. zajęcia ze studentami. By wyeliminować te niedogodności podejmowane są próby modelowania urządzeń oraz zjawisk tribologicznych.

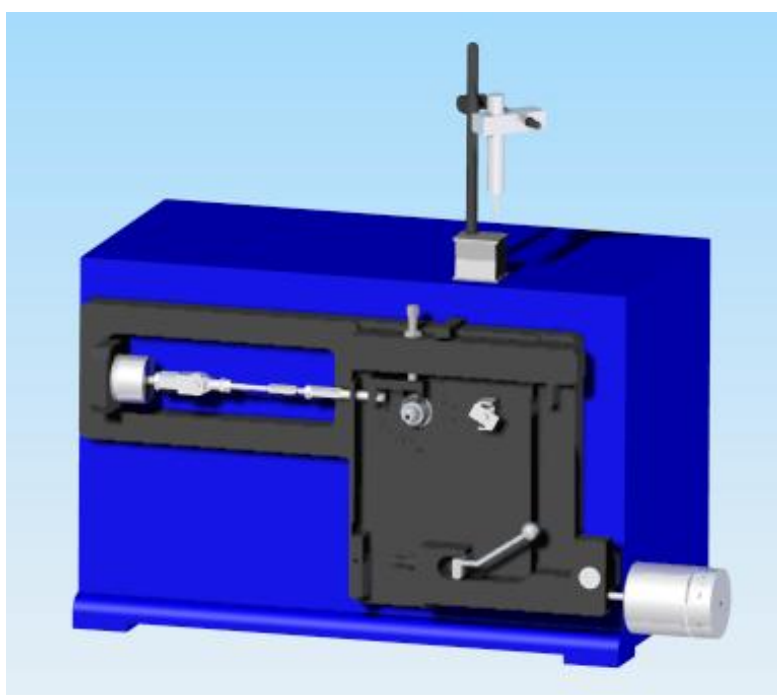
## 2. MODELOWANIE

W ramach prac prowadzonych na Wydziale Informatyki i Nauki o Materiałach wykonano wizualizacje mikroprocesorowych systemów tribologicznych, produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego w Radomiu. Zamodelowano między innymi testery tribologiczne T-01 o skojarzeniu trzpień–tarcza i kula–tarcza oraz T-05 typu rolka–klocek. Modele wykonano z wykorzystaniem programu Solid Edge v19 PL. Z uwagi na brak dostępności pełnej dokumentacji technicznej urządzeń wykorzystano metody inżynierii odwrotnej (RE) do odtworzenia niezbędnych danych. Na potrzeby niniejszego artykułu zastosowano uproszczone modele testerów odwzorowujące ich budowę zewnętrzną bez uwzględniania ich układów kinematycznych.

### TESTER TRIBOLOGICZNY T-05

Wykonanie modeli 3D rozpoczęto od standardowego przedstawiciela testerów tribologicznych jakim jest tribotester T-05 o skojarzeniu rolka–klocek. Stanowisko to jest wykorzystywane do badań odporności na zużycie podczas tarcia metali i tworzyw sztucznych (np. skojarzenia Chirulen-Vitalium stosowanego na endoprotezy). Umożliwia ono również badanie właściwości smarnych smarów plastycznych, olejów i smarów stałych oraz badanie odporności na zacieranie. Stanowisko jest predystynowane do wykonywania badań zgodnie z amerykańskimi normami: ASTM D 2714, D 3704, D 2981 i G 77.

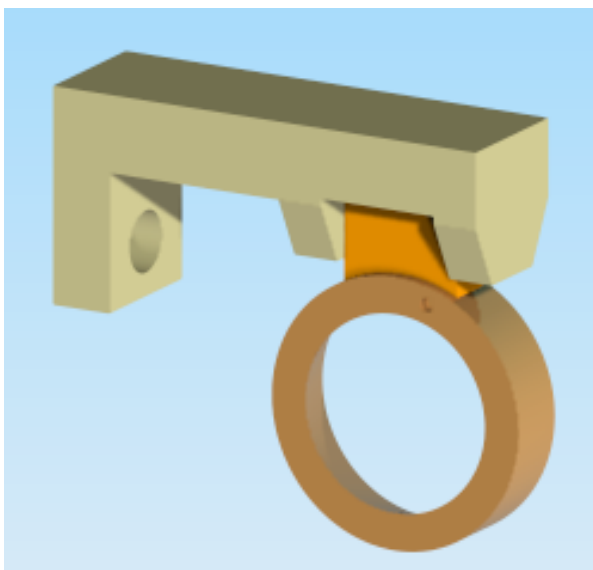
Na rysunku 1 pokazano wyrenderowaną w środowisku Solid Edge bryłę testera. Przy modelowaniu pominięto standardowe wyposażenie większości stanowisk tribologicznych produkcji ITeE–PIB w Radomiu. W skład wyposażenia takiego stanowiska wchodzi między innymi: wzmacniacz pomiarowy, zestaw komputerowy PC z niezbędnym oprogramowaniem oraz sterownik napędu.



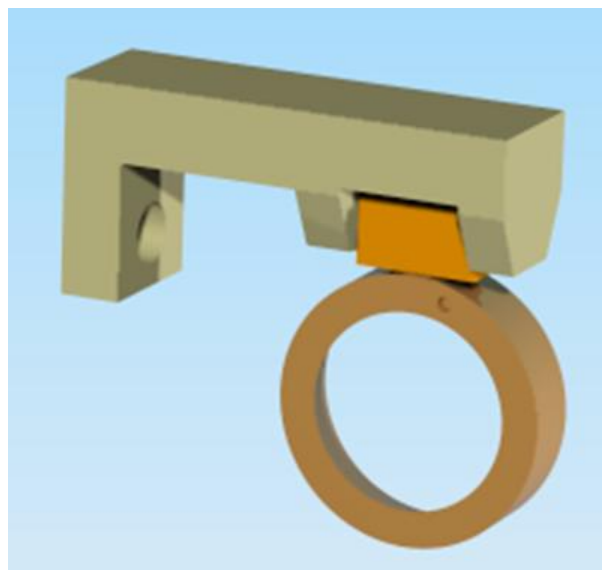
Rys. 1. Wyrenderowany obraz testera T-05

Stanowisko to odwzorowuje węzeł kinematyczny w postaci części łożyska ślizgowego smarowanego hydrodynamicznie. Badania można prowadzić dla dwóch rodzajów styku: skoncentrowanego (liniowego) i rozłożonego. Układ napędowy umożliwia badania dla ruchu obrotowego i oscylacyjnego. Wizualizację węzłów realizujących podane rodzaje styku przedstawiono na rysunku 2.

a)



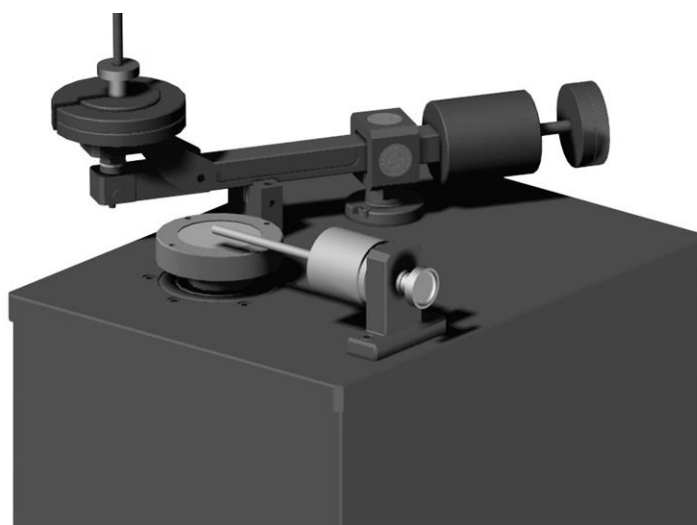
b)



Rys. 2. Wyrenderowany obraz węzła tarcia a) rolka – klocek wklęsły, b) rolka – klocek dla styku liniowego

### TESTER TRIBOLOGICZNY T-01

Drugim często wykorzystywanym w badaniach tribologicznych stanowiskiem jest mikroprocesorowy tester tribologiczny T-01 (Rys. 3), umożliwiający realizację skojarzeń typu trzpień – tarcza lub kulka – tarcza. Umożliwia on badanie skojarzeń tribologicznych na prostych próbkach w oparciu o klasyfikację eksperymentalnych badań tribologicznych Heinke'go [3].



Rys. 3. Wyrenderowana bryła testera T-01

Stanowisko to jest wykorzystywane do oceny własności tribologicznych materiałów stosowanych na skojarzenia elementów maszyn i urządzeń. Można tu wyznaczyć wartość współczynnika tarcia, przemieszczenie liniowe, a tym samym odporność na zużycie. Badania mogą być prowadzone dla różnych prędkości poślizgu, drogi tarcia czy siły nacisku, w różnych warunkach, najczęściej tarcia technicznie suchego. Procedury badawcze mogą być prowadzone zgodnie z notami norm amerykańskich (ASTM G99) oraz niemieckich (DIN 50324).

W skojarzeniach tribologicznych typu płaszczyna z płaszczyną jakie występują w węźle trzpień–tarcza częstym problemem jest uzyskanie równoległości powierzchni współpracujących ze sobą elementów. Problem ten jest szczególnie dotkliwy w przypadku materiałów charakteryzujących się wysoką twardością. W takich przypadkach korzystnie jest wykonywać badania dla skojarzeniu kulka-tarcza, gdzie mamy do czynienia na początku każdego testu ze stykiem punktowym. Fotorealistyczna wizualizacja węzła tarcia została przedstawiona na rysunku 4.

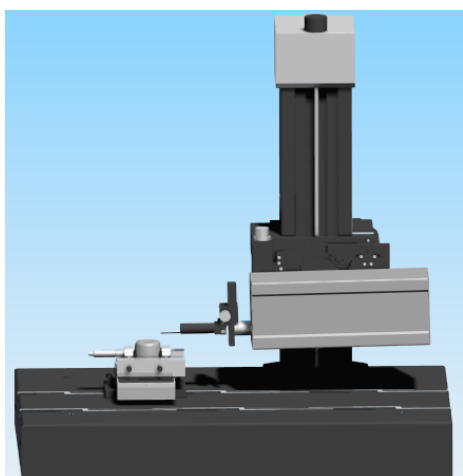


Rys. 4. Wyrenderowany obraz węzła tarcia kulka–tarcza testera T-01

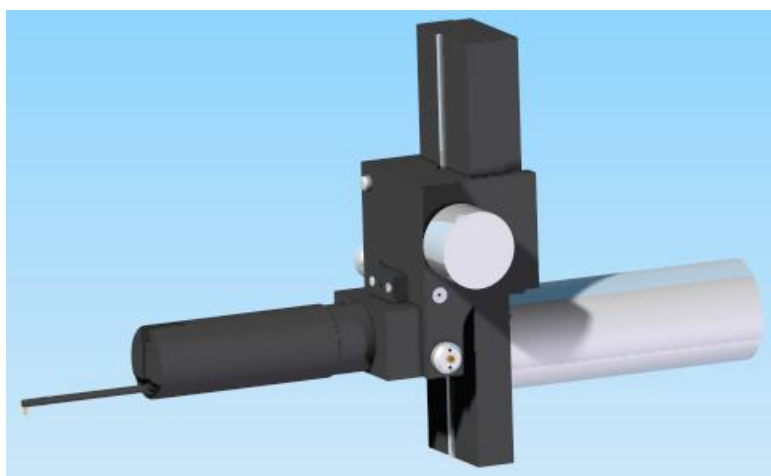
### Profilografometr stykowy TALYSURF 3D Taylor Hobson

Badanie struktury geometrycznej powierzchni (SGP) może być prowadzone za pomocą metod stykowych i bezstykowych. Ze względu na topografię powierzchni analizowanych materiałów (anodowe powłoki twarde współpracujące z tworzywami ceramicznymi), zastosowano stykową metodę pomiarów SGP za pomocą profilografometru TALYSURF 3D Taylor Hobson (rys. 5). Profilografometr ten umożliwia pomiary chropowatości w układzie 2D i 3D. Na podstawie danych pomiarowych możliwa jest ich dalsza analiza w programie TalyMap.

a)



b)



Rys. 5. Wyrenderowany obraz a) profilografometru TALYSURF 3D Taylor Hobson, b) głowicy pomiarowej

Ważnym elementem pomiarowym tego stanowiska jest głowica indukcyjna współpracująca z igłą diamentową o promieniu zaokrąglenia wierzchołka  $2\ \mu\text{m}$ . W celu przybliżenia zagadnienia osobom nie związanym z tematyką SGP wykonano model profilografometru (rys. 5) - jest on częścią systemu do pomiaru i analizy powierzchni materiałów.

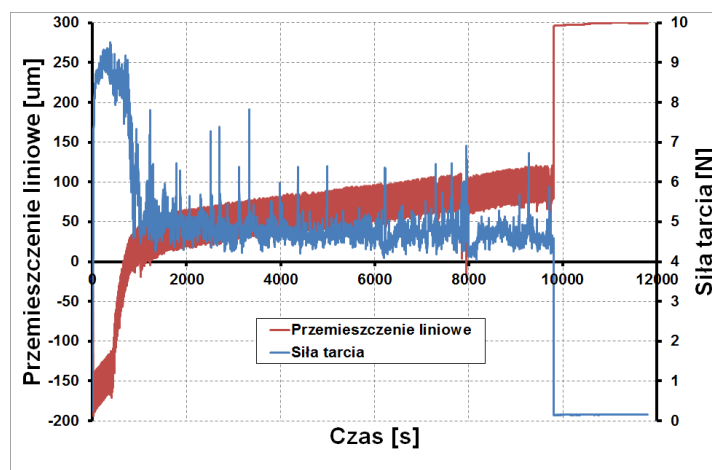
Animacje wykonane w programie Solid Edge mają na celu przybliżenie zasady działania profilografometru i pokazanie metodyki badań za pomocą tego urządzenia.

### 3. WYNIKI BADAŃ

Budowane modele testerów tribologicznych są istotne z punktu widzenia analizy wyników, które należy rozpatrywać w powiązaniu z urządzeniem, na którym były wykonywane. Istotnym uzupełnieniem podstawowych badań tribologicznych (to jest współczynnika tarcia i intensywności zużycia) są badania chropowatości powierzchni współpracujących elementów, pomiary termograficzne oraz analiza węzła za pomocą np. metody elementów skończonych (MES).

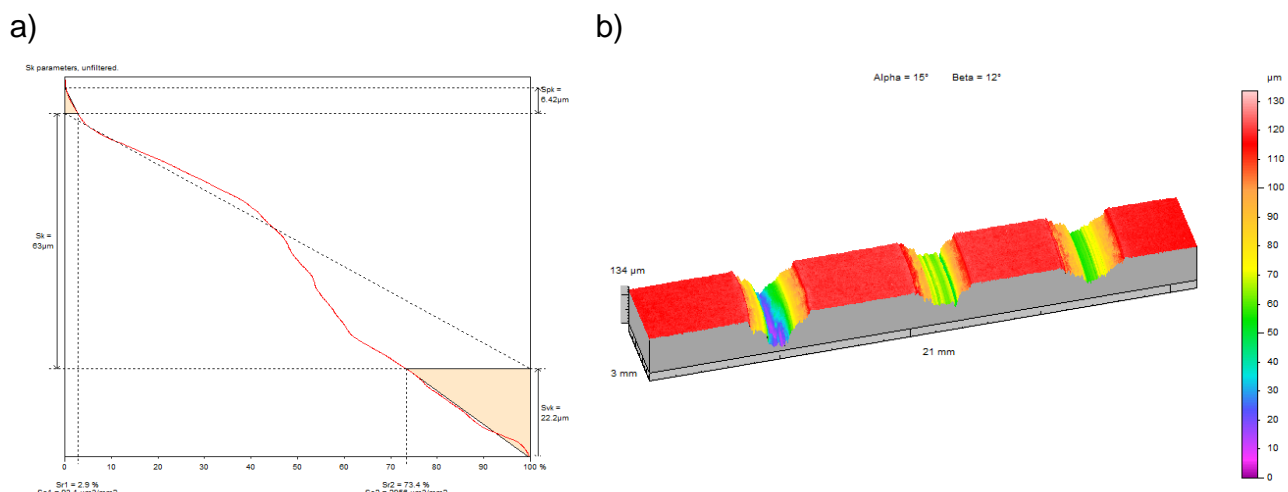
Ponieważ modelowanie i wyniki badań eksperymentalnych powinny tworzyć układ komplementarny, w niniejszej pracy przedstawiono je dla przykładowej pary materiałowej. Wyniki eksperymentu uzyskano na stanowisku tribologicznym T-01. Próbkę stanowiła kulka z tlenku cyrkonu  $\text{ZrO}_2$  o  $\varnothing 10\ \text{mm}$  współpracująca z przeciwpróbką, którą stanowiła warstwa tlenkowa wytworzona na stopie aluminium EN-AW 5251 o grubości  $50\ \mu\text{m}$ , uformowana w elektrolicie trójskładnikowym. Pozostałe parametry badań były następujące: obciążenie węzła  $10\ \text{N}$ , prędkość poślizgu  $0,1\ \text{m/s}$ , droga tarcia  $1000\ \text{m}$ , wilgotność względna  $50 \pm 10\ \%$ , temperatura otoczenia  $23 \pm 1\ ^\circ\text{C}$ . Średnia średnica tarcia wynosiła odpowiednio  $24, 32, 48\ \text{mm}$ , pozostałe parametry w laboratorium były zgodne z wytycznymi noty technicznej VAMAS [4-6].

Nie poddane obróbce wyjściowe charakterystyki siły tarcia i przemieszczenia liniowego spowodowanego zużyciem i rozszerzalnością cieplną w funkcji czasu przedstawiono na rysunku 6.



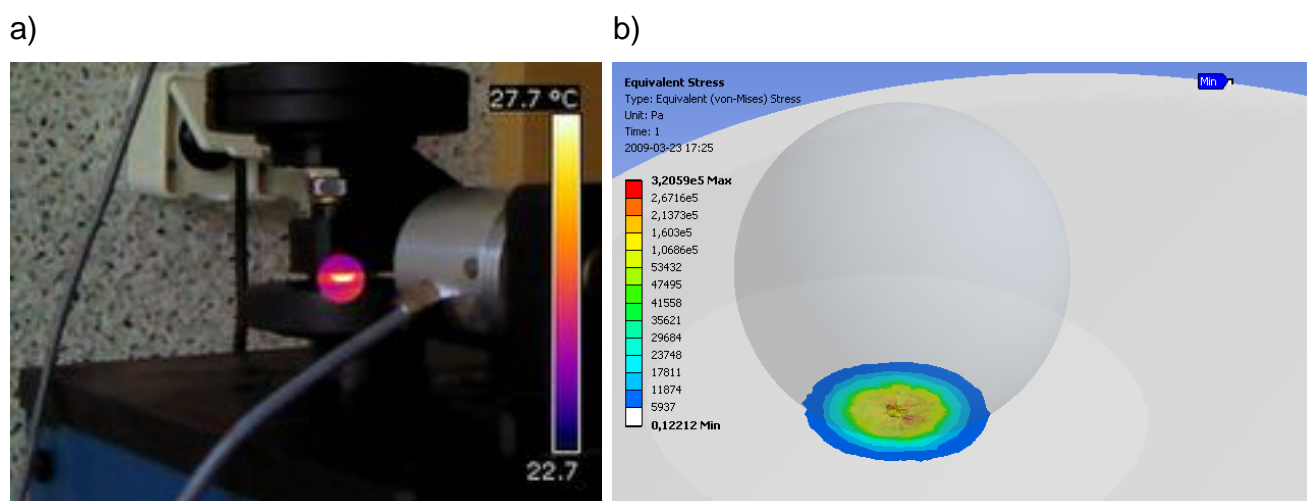
Rys. 6. Charakterystyki tribologiczne skojarzenia kula-tarcza dla materiałów  $\text{ZrO}_2$  – powłoka tlenkowa

Ważna jest znajomość topografii powierzchni przed i po badaniach tribologicznych. Pomiar SGP wykonano za pomocą profilografometru stykowego TALYSURF 3D Taylor Hobson. Wybrane wyniki pomiarów dotyczące np. krzywej nośności (Abbotta) oraz izometryczne obrazy śladów współpracy zaprezentowano na rysunku 7.



Rys. 7. Wyniki badań SGP, a) Interaktywna krzywa Abbotta dla śladu współpracy; b) izometryczny obraz śladów współpracy kulek  $ZrO_2$  z powłoką tlenkową

Uzupełnieniem badań tribologicznych i SGP jest analiza termograficzna węzła podczas współpracy oraz wyznaczenie rozkładu naprężeń, odkształceń i przemieszczeń za pomocą MES w analizowanym skojarzeniu (rys. 8). Analizę termograficzną przeprowadzono za pomocą kamery FLIR T335 umożliwiającą zapis obrazu w świetle widzialnym, podczerwonym i ich wzajemne nałożenie.



Rys. 8. Wyniki badań uzupełniających; a) termograficznym obrazem węzła tarcia testera T-01; b) rozkład naprężeń w skojarzeniu kulka-tarcza

## 4. WNIOSKI

Utrudniony dostęp do przedstawionych atestowanych stanowisk badawczych wymusił zamodelowanie tych urządzeń w programie Solid Edge. Wizualizacja powinna ułatwić analizę wyników otrzymanych z tych testerów. Przybliży też zasadę działania urządzeń osobom zainteresowanym (np. studentom, młodym adeptom i osobom zlecającym badania) nie zakłócając warunków pomiaru. Modele uzupełniono o przykładowe wyniki badań eksperymentalnych podstawowych i uzupełniających. Umożliwia to powiązanie wyników z urządzeniem, na którym zostały otrzymane.

Uzupełnienie wirtualnego laboratorium o wyniki badań eksperymentalnych pozwala na pełny ogląd i świadomy wybór stanowisk i metod badawczych.

## LITERATURA

- [1] M. Hebda: Procesy tarcia, smarowanie i zużywanie maszyn. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, Warszawa 2007
- [2] M. Szczerek: Metodologiczne problemy systematyzacji eksperymentalnych badań tribologicznych. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 1997.
- [3] G. Heinke: Verschleiß – eine Systemeigenschaft Auswirkungen auf die Verschleißprüfung. W. Werkstofftechnik, vol 6 (1975), s. 164-169.
- [4] H. Czichos, S. Becker, J. Lexow: Multilaboratory tribotesting: results from the Versailles Advanced Materials and Standards Programme on Wear Test Methods. Wear 1987, t.114, s. 109-130.
- [5] H. Czichos, S. Becker, J. Lexow: International multilaboratory sliding wear tests with ceramics and steel. Wear. 1989, t. 135, s. 171-191.
- [6] W. Piekoszowski, W. Tuszyński, M. Szczerek, M. Wiśniewski: Testowanie tarcia i zużycia materiałów ceramicznych i stali w ramach programu VAMAS. Tribologia. 1994, t.138, s. 716-728.