

mgr MAREK KUBICA mkubica@us.edu.pl www.marek.prv.pl
dr GRZEGORZ SŁUŻAŁEK grzegorz.sluzalek@us.edu.pl
mgr MARIUSZ WRAZIDŁO
Uniwersytet Śląski, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach
Katedra Materiałoznawstwa, Zakład Technologii Warstw Powierzchniowych
41-200 Sosnowiec, ul. Śnieżna 2

Trójwymiarowy, animowany model testera T-11 wykorzystywanego do badań tribologicznych węzłów tarcia trzpień-tarcza i kulka-tarcza

WSTĘP

Grafika komputerowa ma na celu wizualizację realnych lub wyimaginowanych procesów przy użyciu niezbędnego narzędzia, jakim jest w tym wypadku komputer, a także specjalne oprogramowanie. Podczas reprezentowania grafiki komputerowej najtrudniejszy jest proces zrozumienia wizualizacji, która jest w danym momencie przetwarzana nie tylko przez nasz wzrok, ale i umysł, dzięki któremu przeanalizowane i przetworzone obrazy mogą być dla nas zrozumiałe. Wszechobecność grafiki w naszym życiu już do tego stopnia nas przyzwyczała, że wielu z nas nie zwraca na nią uwagi i nie zastanawia się w jaki sposób ona powstała, a każdy jej mały detal i fragment ma swój początek w programach graficznych dzięki, którym w połączeniu z innymi elementami tworzy spójną całość.

Za pomocą grafiki trójwymiarowej można szybko i efektywnie projektować i modelować różnorodne zjawiska oraz problemy. Grafika przestrzenna jest bramą do świata wirtualnego, którego atrakcyjność zależy od twórcy i jego pomysłów. Grafika 3D ciągle ewoluuje i rozwija swoje możliwości. Od dosyć prymitywnych kresek uzyskanych na ekranie przekształca się do obrazów z trudem odróżnialnych od fotografii.

Rozwój sprzętu komputerowego jest ściśle związany z rozwojem nowoczesnego oprogramowania, przyczynia się do popularyzacji i wzrostu zastosowania komputerowego wspomaganie podczas projektowania (w skrócie CAD - ang. Computer Aided Design), pozwalającego na projektowanie i tworzenie modeli trójwymiarowych w czasie rzeczywistym. Sceny trójwymiarowe stosowane w CAD są przedstawiane w rzucie prostokątnym, pozostałe natomiast w rzucie perspektywicznym. Nowoczesne aplikacje komputerowe coraz częściej stają się kompletnymi środowiskami pozwalającymi nie tylko na tworzenie cyfrowych modeli geometrycznych części i zespołów, ale także na:

- rendering scen (analiza modelu danej sceny i utworzenie na jej podstawie dwuwymiarowego obrazu wyjściowego w formie statycznej),
- tworzenie animacji ,
- przygotowanie dokumentacji technicznej,
- analizę wytrzymałościową.

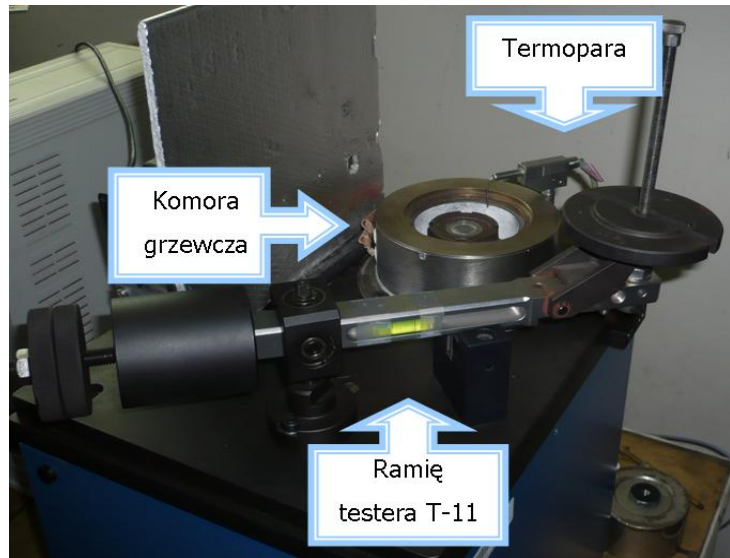
Zawarte porozumienie firmy Unigraphics Solutions (twórcy systemu Solid Edge) z innymi producentami oprogramowania umożliwia ich pełną integrację, dzięki czemu otrzymujemy kompleksowy systemem CAD/CAE/CAM (komputerowego wspomaganie: projektowania, konstruowania i wytwarzania) [1].

TESTER T-11 do badań tribologicznych

Tester T-11 (Rys. 1.) to urządzenie do badania skojarzenia trzpień-tarcza lub kulka-tarcza z pojedynczym stykiem testowym, przeznaczone do badań w podwyższonej temperaturze.



Rys. 1. Zdjęcie testera T-11 [1]



Rys. 2. Elementy testera T-11

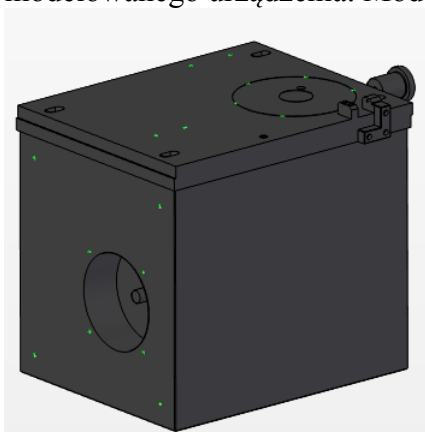
Aparatura testera T-11 pozwala na pomiar badań właściwości tribologicznych środków smarnych oraz materiałów ślizgowych, których przeznaczeniem są miejsca maszyn lub też elementów narażonych na pracę w podwyższonej temperaturze.

Urządzenie pozwala na określenie wytrzymałości na zużycie oraz współczynnik tarcia materiału przy skojarzeniu ślizgowym, w zależności od czynników takich jak:

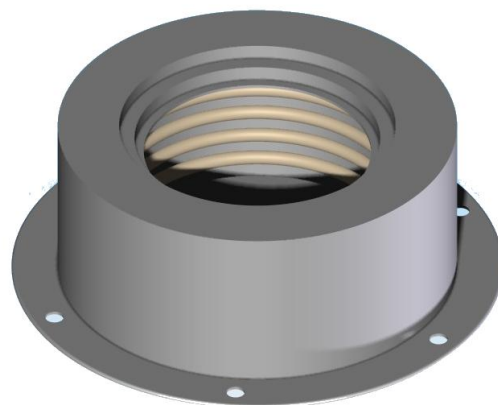
- prędkości poślizgu,
- nacisków powierzchniowych,
- obecności (rodzaj) lub też braku środka smarowego,
- temperatury otoczenia miejsca tarcia [2].

MODELOWANIE TESTERA T-11 W PRZESTRZENI TRÓJWYMIAROWEJ

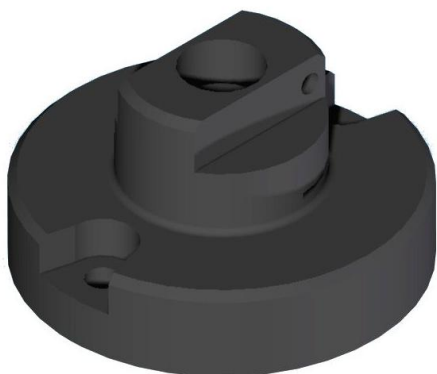
Modelowanie testera T-11 wykonany został w parametrycznym programie Solid Edge v19, który należy do grupy programów MCAD (Mechanical Computer Aided Design). Na rysunkach od 3-14 zostały przedstawione gotowe wyrenderowane elementy składowe modelowanego urządzenia. Model testera po złożeniu zaprezentowano na rys. 15 i 16.



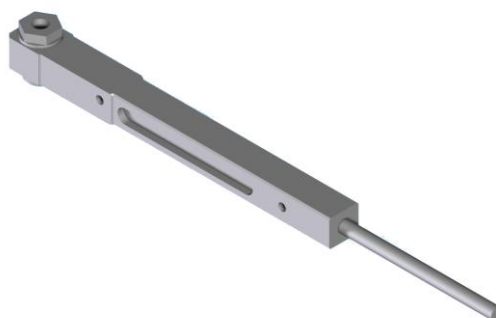
Rys. 3. Obudowa testera T-11



Rys. 4. Komora grzewcza testera



Rys. 5. Mocowanie pod ramię



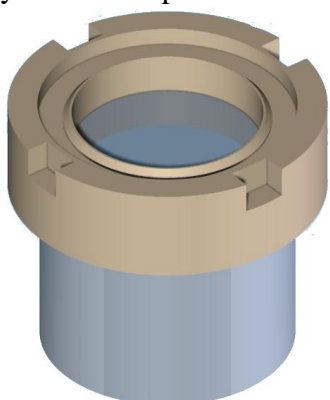
Rys. 6. Ramię testera T-11



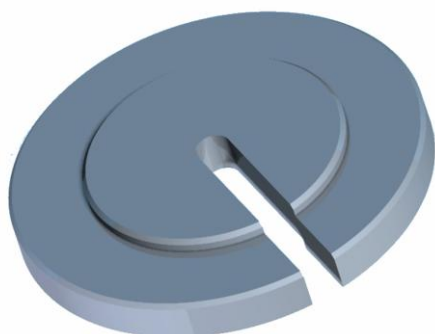
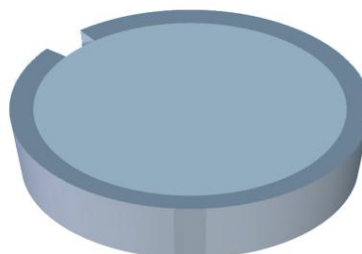
Rys. 7. Termopara testera



Rys. 8. Trzpień próbki z mocowaniem



Rys. 9. Podstawka na próbkę z Rys. 10. Próbka z obejmą pierścieniem



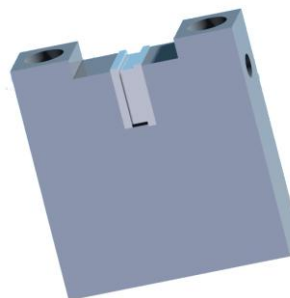
Rys. 11. Ciężarek - z nacięciem



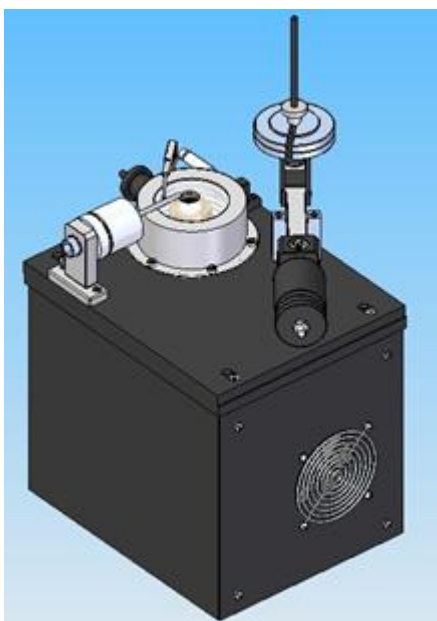
Rys. 12. Ramię ciężarków



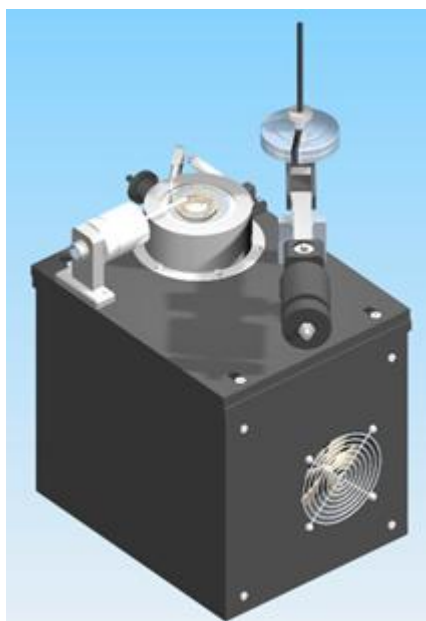
Rys. 13. Czujnik testera



Rys. 14. Podstawa pod ramię z magnesem



Rys. 15. Tester T-11 przed renderowaniem

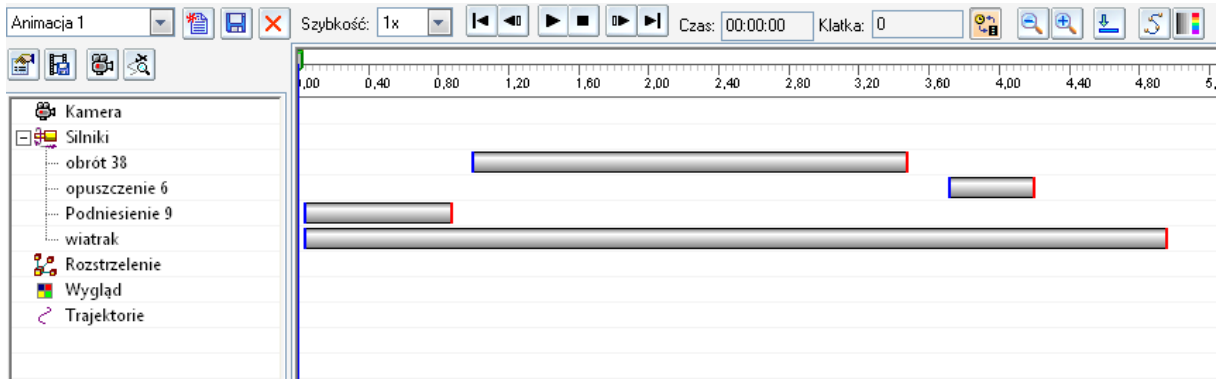


Rys. 16. Tester T-11 - scena po renderowaniu w trybie Photorealistic

ANIMACJA

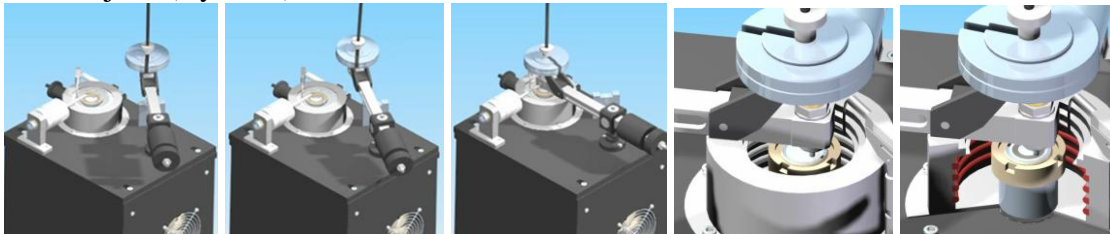
Program Solid Edge v19, w którym został wykonany model przestrzenny testera T-11 pozwala również na tworzenie animacji. Dzięki specjalnym wirtualnym silnikom zaimplementowanym w module „zespół” możliwe jest zasymulowanie ruchu i zaprezentowanie idei działania urządzenia. Program oferuje dwa rodzaje napędów, które można wykorzystać do tworzenia animacji 3D: silnik obrotowy i liniowy. W zależności od typu wybranego silnika w pasku edycji można zadać prędkość obrotową i ilości stopni obrotu (obrotowy) lub ustawić wartość prędkości liniowej oraz limit przesunięcia (liniowy).

Narzędzie edytora animacji (Rys. 17.) pozwala kontrolować czas i kolejność ruchu wirtualnych silników widocznych na osi czasu.



Rys. 17. Widok edytora animacji ruchów w module zespół – ramie Testera T-11

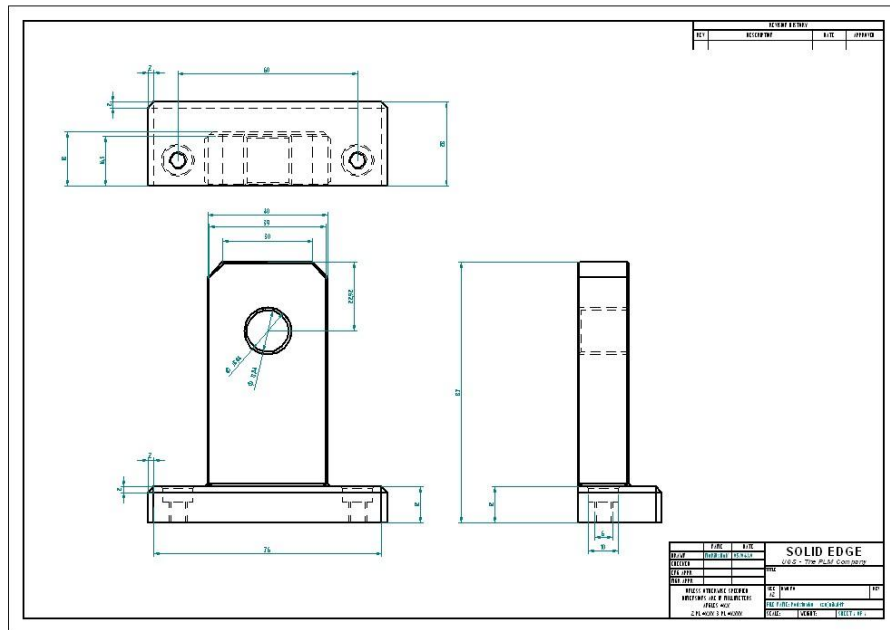
Ważnymi ustawieniami podczas tworzenia animacji jest poprawny widok kamery, dobranie odpowiedniego rodzaju materiału dla poszczególnych części, a także wybranie realnego typu i kierunku oświetlenia. Prawidłowe ustawienie wszystkich parametrów i właściwy trybu renderingu pozwoli na uzyskanie realizmu w renderowanych scenach i animacjach (Rys. 18.).



Rys. 18. Wybrane sceny animacji działania testera T-11

TWORZENIE DOKUMENTACJI TECHNICZNEJ

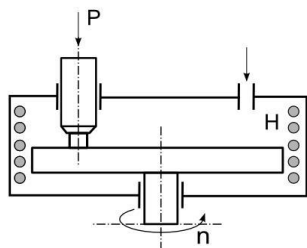
Dokumentacja została wykonana w programie Solid Edge v19 w module rysunku. Zaprezentowano przykładowy rysunek techniczny części podstawki czujnika termopary testera T-11 (Rys. 19.). Aplikacja generuje edytowalną tabelę, pozwala na wstawienie dowolnych rzutów danego elementu i wymiarowania.



Rys. 19. Rysunek techniczny podstawki czujnika testera T-11

SKOJARZENIE BADAWCZE

Węzeł tribologiczny (Rys. 20.) składa się z nieruchomego trzpienia (lub kuli) dociskanego siłą „P” do obracającej się z zadaną prędkością obrotową „n” tarczy. Węzeł tarcia umieszczony jest w specjalnie stworzonej dla tego urządzenia szczelnie izolowanej komorze zaopatrzonej w element grzewczy „H”. Element ten pozwala na podgrzewanie i utrzymywanie stałej temperatury wewnątrz komory badawczej. Istnieje również możliwość badania w atmosferze kontrolowanej poprzez wprowadzanie gazu do komory badawczej.

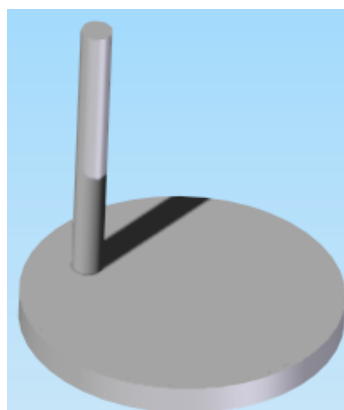


Rys. 20. Zasada działania testera T-11 o skojarzeniu trzpień – tarcza [2]

Podstawowe dane dotyczące testera T-11 oraz parametry charakteryzujące węzeł tarcia, które zestawiono w tabeli 1. Materiałem użytym do badań zarówno dla próbki (trzpień lub kulka) jak i przeciwpróbki (tarcza) był EN AW-5251 (cechującego się dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi, bardzo dobrą stabilnością chemiczną, wysoką odpornością na korozję, dobrą tolerowalnością, a przede wszystkim dużą podatnością na utlenianie). Ponadto na powierzchni tarczy wytworzona została przez anodowanie twarda warstwa Al_2O_3 o grubości $50\mu m$ poprawiająca właściwości ślizgowe i zwiększająca odporność na zużycie dla badanego węzła tarcia [3].



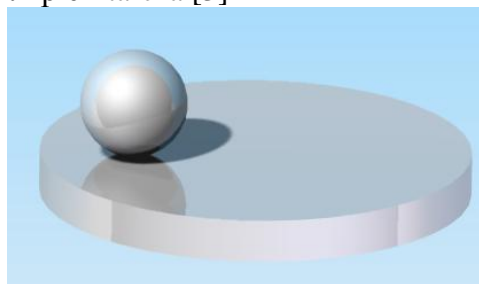
Rys. 21. Zdjęcie węzeł tribologiczny typu trzpień-tarcza [1]



Rys. 22. Model 3D węzeł tribologicznego trzpień-tarcza [3]



Rys. 23. Zdjęcie skojarzenia tribologicznego kulka-tarcza [1]



Rys. 24. Zamodelowane i wyrenderowane skojarzenie kulka-tarcza [3]

Tabela 1. Zestawienie danych technicznych charakteryzujących tester T-11

Rodzaj ruchu	Posuwisto-zwrotny
Geometria styku	rozłożony: trzpień-tarcza skoncentrowany: kulka-tarcza
Nominalna średnica trzpienia	3 mm
Nominalna średnica kulki	10 mm
Nominalna średnica tarczy	25,4 mm
Prędkość poślizgu	1 m/s
Obciążenie styku	0,5 MPa
Rodzaj tarcia	Technicznie suche
Gabaryty urządzenia (szerokość, wysokość, głębokość)	300 x 750 x 450 mm
Zasilanie	230 V / 50 Hz
Waga	50 kg
Maksymalny pobór mocy	1,6 kW

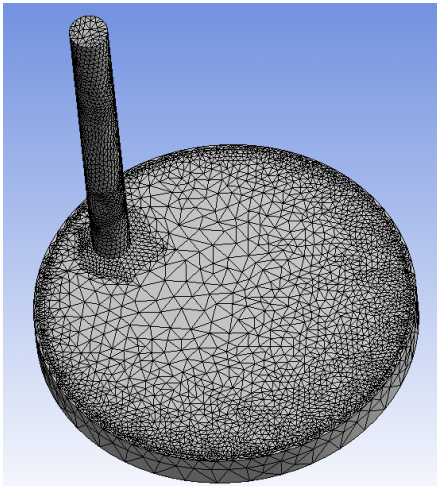
ANALIZA NAPRĘŻEŃ WĘZŁÓW TRIBOLOGICZNYCH W ANSYS Z WYKORZYSTANIEM METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

ANSYS jest specjalistycznym narzędziem do wykonywania analiz, oferującym użytkownikowi możliwość wykonywania badań wytrzymałościowych, termicznych, elektromagnetycznych, statycznych, a także dynamicznych. Umożliwia wykonywanie obliczeń liniowych i nieliniowych. Narzędzia aplikacji umożliwiają wykonanie kompletnej analizy wraz z opracowaniem wyników, bez potrzeby używania dodatkowych programów. Program wykorzystuje do obliczeń modelu matematycznego metodę elementów skończonych (MES), która stała się obecnie jedną z najpopularniejszych metod prowadzenia komputerowo wspomaganym obliczeń inżynierskich. Do przeprowadzonych badań została użyta demonstracyjna wersja programu ANSYS udostępniona przez firmę MESco.

Dzięki pełnej integracji środowisk CAD-CAE możliwe jest przesłanie geometrii bryły zamodelowanej w Solid Edge do programy ANSYS.

ANALIZA SKOJARZENIA TRZPIEŃ-TARCZA

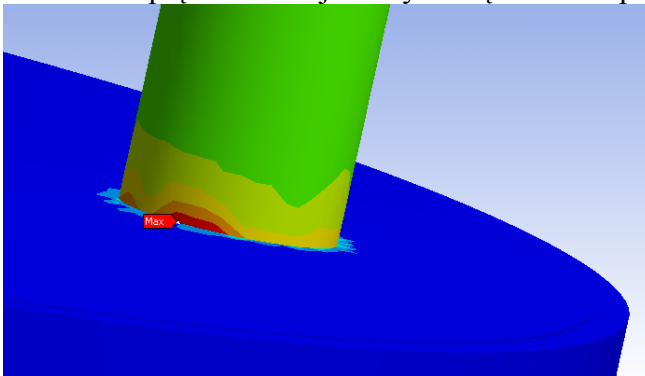
Po zadaniu warunków odpowiadających rzeczywistym i wprowadzeniu odpowiednich właściwości materiałów do biblioteki programu ANSYS wygenerowano siatkę składającą się z 37059 tetragonalnych czterowęzłowych elementów skończonych, zagęszczając ją odpowiednio w miejscach styku krawędzi badanych powierzchni (rys. 25.).



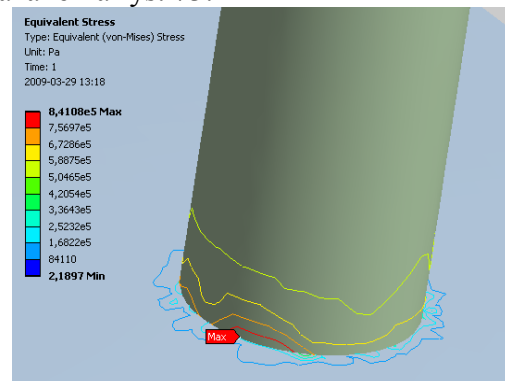
Rys. 25. Model trzpień-tarcza z nałożoną siatką elementów skończonych

Na rysunkach 26 i 27 zobrazowano wyniki koncentracji naprężeń w węźle tribologicznym. Wyniki analizy MES wskazują, że kumulacja naprężeń występuje w miejscu styku trzpień z płytką.

Rozkład naprężeń w miejscu styku węzła tarcia pokazano na rys. 73.



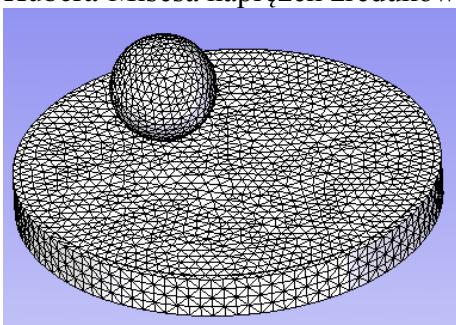
Rys. 26. Rozkład naprężeń wg hipotezy Hubera-Misesa



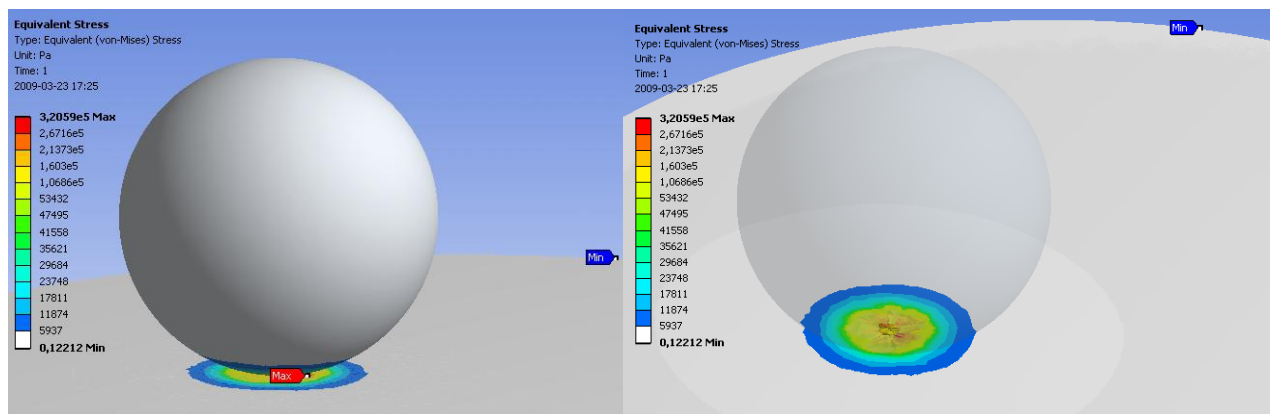
Rys. 27. Wyniki rozkładu naprężeń z obrazowane za pomocą izolinii

ANALIZA SKOJARZENIA KULKA-TARCZA

Nieruchoma kulka została obciążona siłą, a tarczy zadano obrót odpowiadający rzeczywistości. Program generuje odpowiednio zmodyfikowaną siatkę elementów skończonych (Rys. 28.), wykonuje obliczenia, zaznaczając miejsca w których naprężenia są największe (Max) i najmniejsze (Min). Wyniki analizy rozkładu naprężeń wg. hipotezy Hubera-Misesa naprężeń zredukowanych zaprezentowano na rys. 29. i rys. 30.



Rys. 28. Dyskretyzacja skojarzenia kulka-tarcza



Rys. 29. Rozkład naprężeń w analizie skojarzenia kulka-tarcza

Rys. 30. Inne zobrazowanie naprężeń w węzle kulka-tarcza

Komputerowa analiza węzła tarcia wskazuje, że największe naprężenia znajdują się w miejscu styku skoncentrowanego powierzchni próbek [5].

PODSUMOWANIE

Grafika komputerowa jest jedną z dziedzin informatyki, mającą na celu wizualizację różnorodnych procesów i zjawisk. Dzięki ogromnemu zainteresowaniu oraz jej ciągłemu rozwojowi stała się jedną z kluczowych dziedzin nauki, techniki i kultury. Wszędzie tam, gdzie jest potrzeba prezentacji różnego typu grafiki, wykorzystuje się wyspecjalizowane programy graficzne, pozwalające na tworzenie obrazów począwszy od futurystycznych i abstrakcyjnych grafik, kończąc na scenach przypominających rzeczywistość. Coraz częściej wykorzystywane animacje komputerowe pozwalają na zrozumienie rzeczy, które na ogół wydają się być nam skomplikowane. Wykonywane ruchy urządzenia bądź przekształcenia mogą być zasymulowane w trakcie wizualizacji przestrzennych animacji.

Podczas modelowania testera T-11 użyto większość funkcji oferowanych przez program Solid Edge. Do realizacji pracy zostały wykorzystane moduły „część” i „zespół”, które pozwoliły na zamodelowanie pojedynczych elementów oraz złożenie ich w całość. Przy użyciu modułu „rysunek” została stworzona dokumentacja techniczna testera.

Dzięki możliwości symulacji silników i zadaniu parametrów odpowiadających rzeczywistości możliwe było wykonanie animacji. Kolejnym atutem programu jest możliwość renderingu, dla którego odpowiednio ustawione właściwości oświetlenia oraz jego rodzaj pozwolą na uzyskanie realizmu w tworzonych scenach.

Integracja środowisk CAM i CAE pozwala na przenoszenie zamodelowanej geometrii bryły między systemami wspomagającymi projektowanie i obliczenia inżynierskie. Przy zastosowaniu nowoczesnego oprogramowania ANSYS wykorzystującego numeryczne metody obliczeniowe rozwiązywania modeli matematycznych (MES) możliwe było przeprowadzenie analizy naprężeń występujących w węzle tribologicznym bez konieczności wytwarzania próbek rzeczywistych przy zadaniu rzeczywistych warunków eksploatacji i właściwości materiałów.

Obserwując dynamiczny rozwój możliwości sprzętu komputerowego i oprogramowania wspomagającego obliczenia inżynierskie można wysunąć tezę, że w przyszłości możliwe będzie zastąpienie badań stanowiskowych analizami komputerowymi. Należy mieć na uwadze, że mimo iż pakiety MES stają się coraz doskonalszymi i efektywniejszymi narzędziami, mogą generować błędy, które projektanci i inżynierowie dzięki swojej wiedzy, doświadczeniu i intuicji powinni wychwycić i usunąć tak, by efekt końcowy był zawsze prawidłowy.

LITERATURA

1. <http://www.tribologia.org/ptt/inst/rad/ITeE-PIB.htm>
2. <http://www.itee.radom.pl/tribologia/pliki/T-11.pdf>
3. Prof. UŚ dr hab. Władysław Skoneczny, mgr Marek Kubica: Komputerowa analiza właściwości tribologicznych wybranych materiałów polimerowych w skojarzeniu ślizgowym z warstwą Al_2O_3 przy użyciu metody elementów skończonych”. Postęp w przetwórstwie materiałów polimerowych, Częstochowa 2010 - przyjęte do druku.
4. M. Kubica: „Metoda elementów skończonych w technice i dydaktyce”. Praca magisterska, Uniwersytet Śląski 2009.
5. Grzegorz Służalek, Marek Kubica, Henryk Bąkowski: „Rozkład naprężeń i odkształceń wybranych węzłów tarcia w badaniu warstwy typu duplex”. Mechanik 2010 R. 83 nr 1.
6. Piotr Duda, Henryk Bąkowski, Grzegorz Służalek: „Zastosowanie MES do określenia naprężeń i odkształceń w węzłach tarcia testera T-05”. Mechanik 2010 R. 84 nr 2.