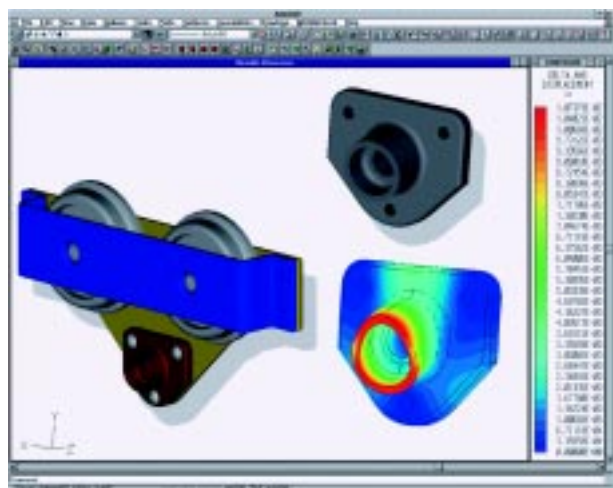


MSC/INCHECK V2.0

Przy projektowaniu współczesnych maszyn i urządzeń mechanicznych konieczne jest wykonanie wielu różnych obliczeń, których celem jest zoptymalizowanie konstrukcji, zmniejszenie kosztów wytworzenia, a przede wszystkim zaprojektowanie lepszego urządzenia. Do prowadzenia obliczeń wytrzymałościowych stosuje się w coraz większym zakresie obliczeniowe programy komputerowe wykorzystujące metodę elementów skończonych (MES). Dynamiczny rozwój komputerów PC pozwala obecnie na zastosowanie tej klasy komputerów do przeprowadzenia wielu rodzajów obliczeń z zastosowaniem MES, które wcześniej możliwe były do wykonania jedynie na silnych stacjach roboczych.



Konstruktor mechanik, który projektuje w programie Mechanical Desktop, tworzy bryłowy model trójwymiarowy, stanowiący elektroniczne odzwierciedlenie rzeczy-



wistego obiektu. Model projektowanego urządzenia jest tworzony w wymiarach rzeczywistych i posiada wszystkie szczegóły prawdziwego obiektu. Mając zbudowany wirtualny prototyp możemy poddać go różnym analizom, modelując rzeczywiste warunki pracy. To wszystko będzie odbywało się w pamięci komputera, znacznie zmniejszając liczbę koniecznych do przebadania prototypów, a co za tym idzie, przyczyni się do zmniejszenia kosztów i przyspieszenia prac konstrukcyjnych. Oczywiście konieczne będzie posiadanie odpowiedniego oprogramowania specjalistycznego CAE, które przeprowadzi właściwe analizy. Idealnie jest, gdy program obliczeniowy działa w środowisku programu CAD, który służy do zbudowania modelu urządzenia, gdyż pracuje wtedy na rzeczywistym modelu bez konieczności dokonywania transferu danych z jednego formatu na inny.

Do prowadzenia obliczeń części mechanicznych z użyciem metody elementów skończonych w środowisku Mechanical Desktop warto skorzystać z programu MSC/InCheck firmy MacNeal-Schwendler Corporation (MSC). Firma MacNeal-Schwendler Corporation od ponad 30 lat zajmuje się rozwojem oprogramowania do ob-

liczeń inżynierskich. Najbardziej znanym produktem tej firmy jest program MSC/NASTRAN, który powstał w wyniku prac prowadzonych na zlecenie amerykańskiej agencji do spraw aeronautyki i badania przestrzeni kosmicznej (NASA). Obecnie program MSC/NASTRAN jest standardowym narzędziem obliczeniowym w przemyśle samochodowym, lotniczym i okrętowym. Zbudowany jest z modułów umożliwiających przeprowadzanie wielu rodzajów analiz.

Program MSC/InCheck jest najmłodszym dzieckiem firmy MSC i przeznaczony jest dla inżynierów mechanicznych, którzy projektują w Mechanical Desktop i potrzebują w swojej codziennej pracy niedrogi i prosty w obsłudze program obliczeniowy, który zapewni przeprowadzenie podstawowych obliczeń. MSC/InCheck wykorzystuje *solver*, czyli moduł obliczeniowy, pochodzący z programu MSC/NASTRAN i zapewnia prowadzenie następujących rodzajów analizy:

- ⊕ analiza naprężeń i odkształceń (statyka liniowa);
- ⊕ analiza drgań własnych;
- ⊕ analiza stateczności;
- ⊕ analiza rozkładu temperatury;
- ⊕ optymalizacja kształtu badanej części ze względu na naprężenia, drgania i stateczność.

MSC/InCheck został zaprojektowany w taki sposób, żeby użytkownik mógł rozpocząć prowadzenie obliczeń bez żadnych dodatkowych kursów i szkoleń, nawet bez znajomości metody elementów skończonych. Twórcy programu postarali się, żeby skomplikowana w zastosowaniu metoda obliczeń z użyciem elementów skończonych stała się prostym klikaniem w ikonki. Wystarczy wiedza inżynierska na temat tego, jak analizowana część będzie pracować, a interfejs obsługi programu poprowadzi użytkownika za rękę i podpowie, co należy wykonać w kolejnym kroku. Taki komfort pracy osiągnięto dzięki zastosowaniu specjalnych kreatorów analizy, które w sposób jednoznaczny przygotowują cały model obliczeniowy dla danego rodzaju analizy. Dla bardziej zaawansowanych użytkowników programu MSC/InCheck przewidziane są menu rozwijane i ikony, które uruchamiają rzadziej używane i bardziej zaawansowane opcje programu.

ANALIZA NAPRĘŻEN - MODUŁ STRESS



Symulacja naprężeń to podstawowy i najszerzej wykorzystywany rodzaj obliczeń. Ogromna większość projektowanych urządzeń poddawana jest w swojej pracy obciążeniom, które mogą powodować uszkodzenie lub szybsze zużycie części. Żeby sprawdzić, czy projektowana część wytrzyma obciążenie statyczne, można skorzystać z wyjątkowo prostego w obsłudze modułu Stress programu MSC/InCheck. Cały proces symulacji przebiega w bardzo prosty sposób. Wystarczy zadać warunki obciążenia i podparcia części, wygenerować siatkę i przeprowadzić obliczenia. Liniowa, statyczna analiza naprężeń zakłada obliczanie części, które odkształcają się sprężysto i daje w wyniku rozkład naprężeń, odkształceń i sił reakcji. Bardziej zaawansowane obliczenia, szczególnie obliczenia dynamiczne i nieliniowe, dostępne są w programie MSC/NASTRAN.

Przy analizie naprężeń możemy zadać obciążenie w postaci siły, nacisku, temperatury, odkształcenia wymuszonego, grawitacji i spinu.

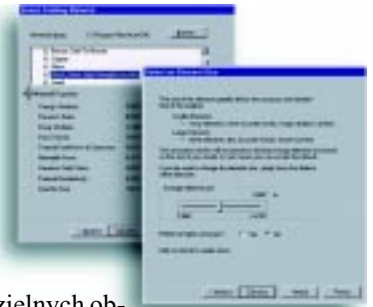
Zastosowane obciążenie przedstawione jest za po-

Możemy zdefiniować jednocześnie wiele różnych zbiorów obciążenia i podparcia części. Program przeliczy wszystkie przypadki w jednym kroku obliczeniowym i przedstawi wyniki obliczeń dla poszczególnych zestawów w postprocesorze obliczeń. Możemy w ten sposób dokonać przeglądu poszczególnych przypadków obciążenia i podparcia bez konieczności prowadzenia oddzielnych obliczeń dla każdego z nich.

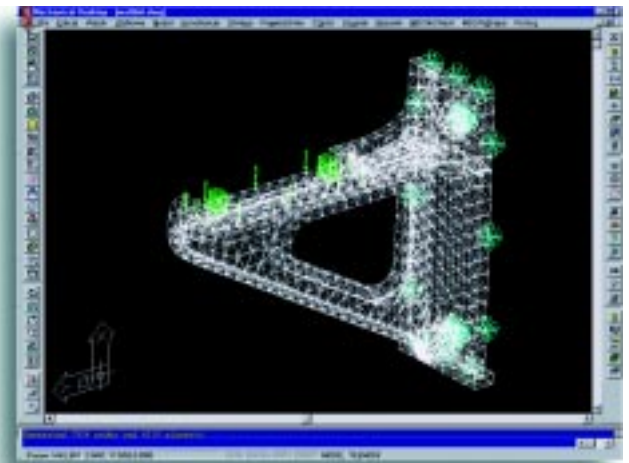
W kolejnym kroku przypisujemy materiał i generujemy siatkę dla MES. MSC/InCheck pozwala na lokalne zagęszczenie siatki w celu poprawienia dokładności obliczeń w interesujących użytkownika miejscach. W ten sposób możemy zoptymalizować czas potrzebny na przeprowadzenie analizy.

Siatka zbudowana jest z elementów czworosiennych o dziesięciu węzłach, które dobrze odwzorowują model bryłowy.

Wygenerowana siatka to przedostatni krok prowa-



Rys. 1. Symbole obciążenia



Rys. 3 Siatka

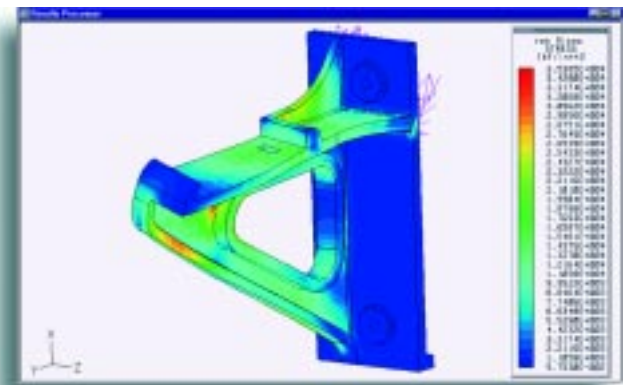
mocą symboli strzałek ilustrujących kierunek działania siły. Kolejnym krokiem jest zastosowanie podparcia analizowanej części. Powierzchnia modelu, która będzie podparta, zostanie zaopatrzona w symbole ilustrujące odebrane stopnie swobody.



dzonej analizy. Teraz należy włączyć obliczenia, a potem obejrzeć wyniki. Do wszystkich rodzajów obliczeń MSC/InCheck wykorzystuje solver programu MSC/NASTRAN.

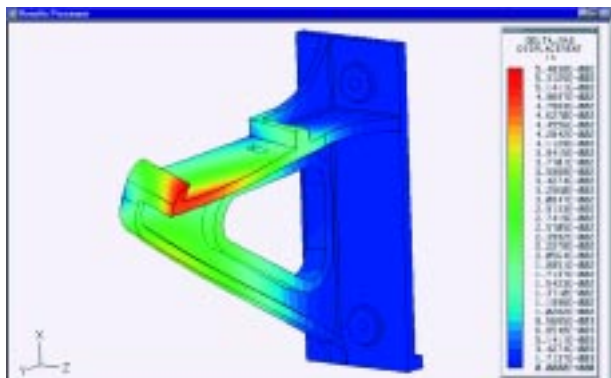


Rys. 2 Symbole podparcia



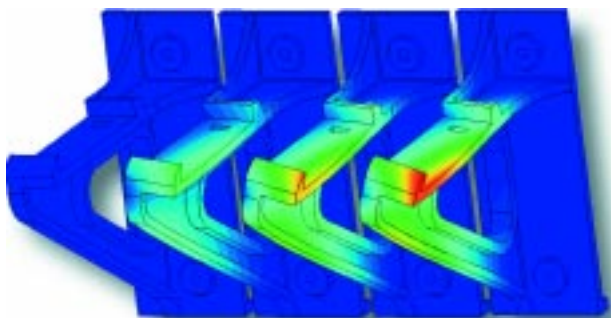
Rys. 4 Rozkład naprężeń

Rozwiązaniem jest rozkład naprężeń, odkształceń i sił reakcji zaprezentowany w specjalnym oknie postprocesora. Sposób prezentacji wyników jest czytelny i daje niezbędny zestaw informacji na temat zachowania się części poddanej zadany warunkom obciążenia.



Rys. 5 Odształcenie

Program pozwala na zaprezentowanie animacji analizowanej części, pokazując liniowe obciążenie od wartości zerowej do maksymalnej.



Rys. 6 Kilka klatek animacji

ANALIZA DRGAŃ WŁASNYCH - MODUŁ VIBRATION



W przypadku projektowania urządzeń, których praca wywołuje drgania, może zająć konieczność sprawdzenia, czy poszczególne części urządzenia nie będą wprowadzane



Rys. 7 Model stroika

w drgania, które mogą powodować ich zużycie lub uszkodzenie. W celu odpowiedzi na pytanie o częstotliwość drgań własnych możemy skorzystać z modułu Vibration programu MSC/InCheck. Symulacja wibracji przeprowadzana jest w bardzo podobny sposób jak symulacja naprężeń. Wyni-



Rys. 8 Zamocowanie modelu do analizy drgań własnych

kiem obliczeń są częstotliwości drgań własnych badanej części oraz jej odkształcenie. W odróżnieniu od analizy naprężeń, model badany pod kątem wibracji jest tylko podpierany. Nie zadajemy żadnego wymuszenia. Prześledźmy proces analizy drgań na przykładzie przyrządu do strojenia instrumentów muzycznych. Częstotliwość drgań własnych stroika powinna wynosić 440 Hz, co odpowiada dźwiękowi A.

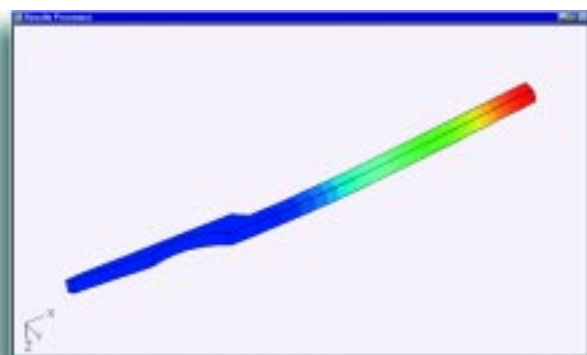


Rys. 9 Eksplorator analizy

Ponieważ stroik jest obiektem symetrycznym, więc wystarczy przeanalizowanie jednej połówki modelu.

Znalezione pierwsze trzy częstotliwości drgań własnych przedstawione są w oknie eksploratora symulacji.

Jak widać, nasz model będzie drgał z właściwą częstotliwością. Poza przeglądem częstotliwości drgań własnych możemy także sprawdzić, jak model będzie odkształcał się dla wybranej częstotliwości. Podobnie jak dla analizy naprężeń, możemy wykonać animację odkształcenia części dla wybranych częstotliwości drgań.



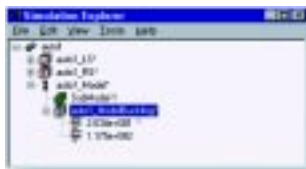
Rys. 10 Odształcenie drgającego końca stroika dla 440 Hz

ANALIZA STATECZNOŚCI - MODUŁ BUCKLING

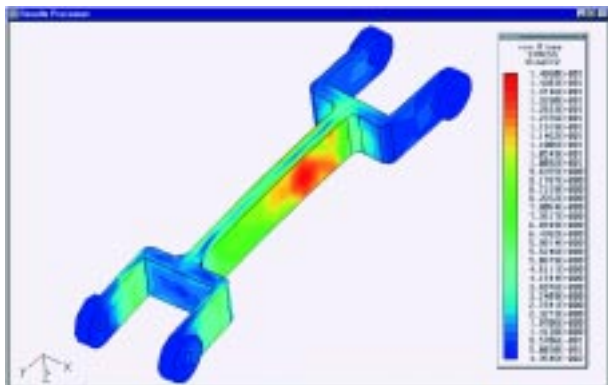


Przy obliczeniach naprężeń (analiza statyczna liniowa) zakłada się, że po usunięciu wymuszenia struktura powraca do pierwotnego kształtu. Jednakże w szczególnych przypadkach obciążenia deformacja struktury może wystąpić gdy wielkość obciążenia nie przekracza wartości granicznych. Jeżeli się to wydarzy, to oznacza, że badana struktura jest niestateczna – następuje wyoboczenie.

Sprawdzanie detali pod kątem wyoboczenia przeprowadza się w podobny sposób, jak dla obliczeń naprężeń. Należy zadać warunki obciążenia i podparcia części, wygenerować siatkę i przeprowadzić obliczenia. Jednakże analiza wyoboczenia będzie obsługiwana za pomocą specjalnie przeznaczonych do tego celu poleceń programu MSC/InCheck. Jako wynik obliczeń otrzymamy wartości współczynników wyoboczenia oraz prezentację odkształcenia, naprężeń i sił reakcji dla wybranego współczynnika.



Rys. 11 Odkształcenie części dla wybranego współczynnika wyoboczenia



Rys. 12 Naprężenia pod działaniem siły powodującej wyoboczenie

ANALIZA ROZKŁADU TEMPERATURY - MODUŁ HEAT TRANSFER



Projektując urządzenia, których części nagrzewają się, musimy brać pod uwagę wpływ temperatury na ich wytrzymałość i odkształcenie. Program MSC/InCheck pozwala na wykonanie najbardziej podstawowej analizy rozkładu temperatury, która może być konieczna na pierwszym etapie

sprawdzania poprawności projektu. Analiza konwekcji prowadzona jest dla stanu statycznego i może być wykonana tylko dla pojedynczej części. Pozostałe rodzaje analizy dostępne są w programie MSC/NASTRAN. Do przeprowadzenia obliczeń rozkładu temperatury konieczne jest zdefiniowanie przewodności cieplnej dla danego rodzaju materiału. Wszystkie materiały znajdujące się w bibliotece materiałów programu MSC/InCheck są uzupełnione o niezbędne parametry do tego rodzaju obliczeń.

W celu przygotowania modelu do obliczeń rozkładu temperatury należy wprowadzić parametry dotyczące środowiska, w jakim będą znajdować się poszczególne powierzchnie sprawdzanej części. Program udostępnia przejrzyste okno dialogowe do wprowadzenia odpowiednich parametrów.

Po ustawieniu danych środowiskowych należy wskazać powierzchnie części, które będą wystawione na dzia-



Rys. 13 Rozkład temperatury w kubku z herbatą

łanie środowiska o ustalonych parametrach. Podobnie jak dla innych rodzajów analizy, program zaznacza wskazane powierzchnie odpowiednimi symbolami.

Po przypisaniu odpowiednich parametrów środowiska generujemy siatkę dla MES i uruchamiamy obliczenia. Wyniki obliczeń przedstawione są w oknie postprocesora analizy. Załóżmy, że chcemy dowiedzieć się, jaki będzie rozkład temperatury kubka, jeżeli wlejemy do niego herbatę. Na rys. 13 widzimy przykładowe wyniki obliczeń.

OPTIMALIZACJA KSZTAŁTU CZĘŚCI - MODUŁ INSHAPE

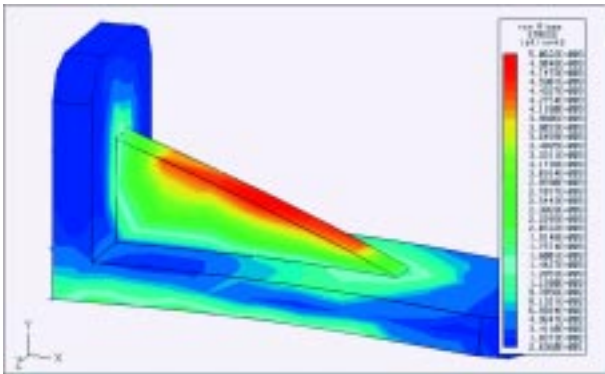


Projektując jakąś część urządzenia, staramy się, żeby jak najlepiej spełniała założone zadanie i jednocześnie była np. jak najlżejsza. Szukamy rozwiązania optymalnego. Jeżeli detal wymaga obliczeń wytrzymałościowych, to znalezienie optymalnych wymiarów części z użyciem metod tradycyjnych będzie bardzo żmudne i zajmie ogromną ilość czasu. Nawet jeżeli posiadamy program do obliczeń z zastosowaniem MES, problem optymalizacji ciągle będzie pracochłonny. MSC/InCheck został zaopatrzony w specjalny moduł do prowadzenia optymalizacji kształtu czę-

ści, który łączy możliwość parametrycznego modelowania Mechanical Desktop z metodą elementów skończonych. Moduł InShape automatyzuje proces prowadzenia kolejnych iteracji poszukujących rozwiązania optymalnego. Wykorzystując parametryczne modelowania

ne modelowania, których wartości mogą być zmieniane podczas procesu optymalizacji.

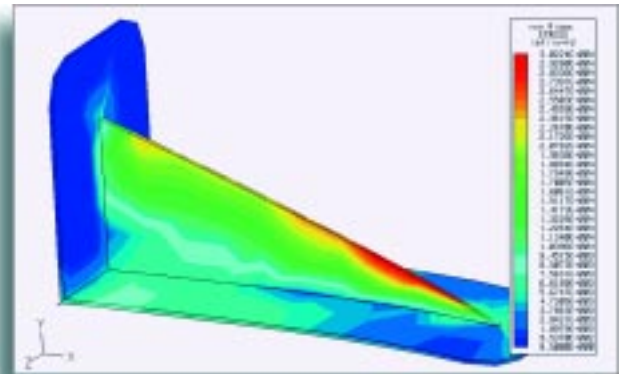
Następnie ustalamy cel optymalizacji i przeprowadzamy obliczenia, zadając liczbę iteracji. Wynik analizy optymalizacyjnej może być przedstawiony w formie



Rys. 14 Model przed optymalizacją. Rozkład naprężeń.

i zadane limity dla zmiennych, program prowadzi przetwarzanie w cyklu analiza – zmiana – analiza, aż osiągnie zamierzony cel. W efekcie czas obliczeń jest nieporównywalnie krótszy niż przy metodach tradycyjnych.

Do prowadzenia optymalizacji konieczne jest posiadanie jednego z wcześniej zaprezentowanych modułów: Stress, Vibration lub Buckling. W celu przeprowadzenia



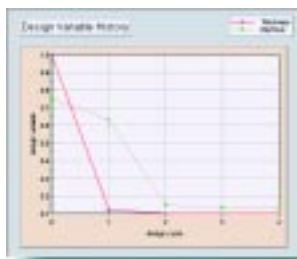
Rys. 18 Rozkład naprężeń w modelu zoptymalizowanym

wykresów liniowych i słupkowych.

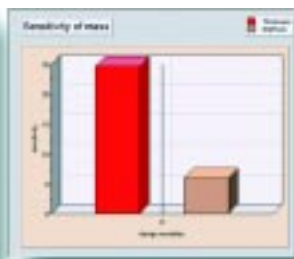
Wykresy generowane przez program pozwalają uzyskać informacje o tym, jak cel optymalizacji, np. masa, zmienia się od wartości początkowej do wartości końcowej, które ze zmiennych modelowania mają największy wpływ na parametr będący celem optymalizacji oraz wzajemną interakcję poszczególnych zmiennych modelowania.

Po zatwierdzeniu wyników obliczeń możemy zlecić aktualizację modelu, przyjmując wybrany wariant.

Dodatkowo można utworzyć plik tekstowy z raportem. MSC/InCheck pozwala na zoptymalizowanie modelu pod kątem masy, objętości, naprężeń, odkształceń, częstotliwości drgań własnych, współczynników wybożenia i przemieszczenia.



Rys. 15 Zmiana poszczególnych parametrów w kolejnych cyklach obliczeniowych

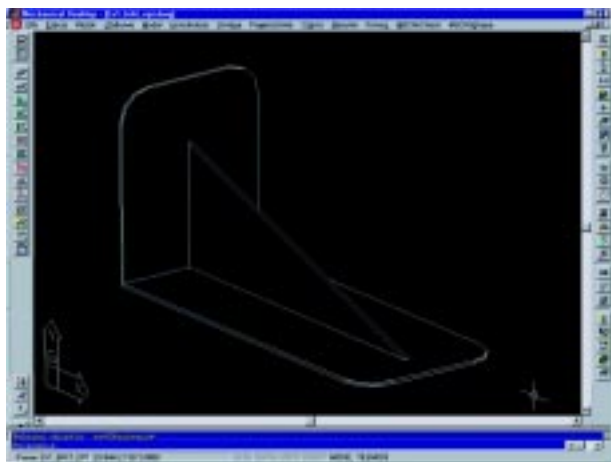


Rys. 16 Wpływ zmiennych na cel optymalizacji

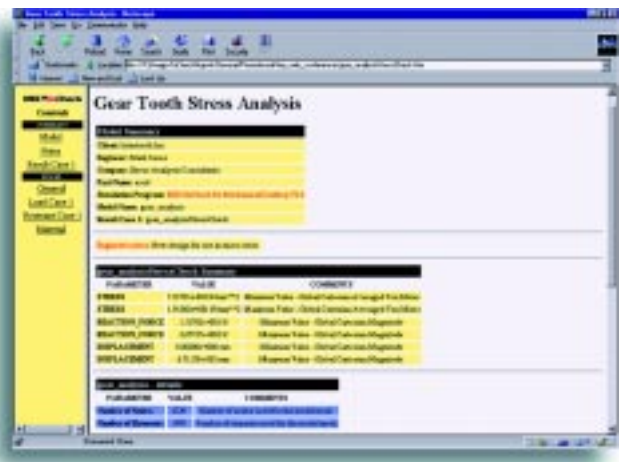
optymalizacji należy przygotować model np. za pomocą jednego z modułów, który będzie zawierał informacje o obciążeniu i podparciu (jeżeli jest konieczne) oraz siatkę. Model ten musi być zaopatrzony w globalne zmien-

PUBLIKACJA DANYCH W SIECI INTERNET

MSC/InCheck został zaopatrzony w możliwość zapisu wyników obliczeń w formacie HTML i VRML, co pozwala na zamieszczenie informacji na temat wyników obliczeń, parametrów siatki, obciążeń i podparć oraz danych materiałowych. Jeżeli skorzystamy z przeglądarki VRML, to możemy model symulacyjny obracać i animować.



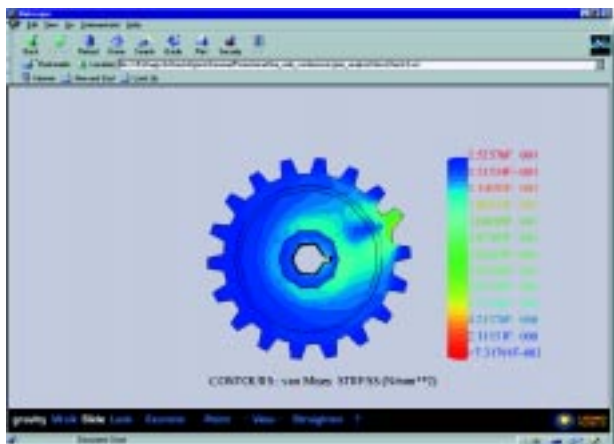
Rys. 17 Model wynikowy po przeprowadzeniu optymalizacji



Rys. 19 Przegląd w Internecie danych dotyczących parametrów prowadzonej symulacji

PODSUMOWANIE

MSC/InCheck jest programem, który pełni rolę podręcznego kalkulatora MES i pozwala konstruktorowi na szybkie sprawdzenie poprawności tworzo-



Rys. 20 Przegląd wyników symulacji w Internecie z możliwością animacji i obracania modelu

nego modelu bez konieczności prowadzenia żmudnych obliczeń metodami tradycyjnymi. Wyjątkowa łatwość obsługi programu pozwala na prowadzenie obliczeń bez znajomości teorii związanej z metodą

elementów skończonych. Nie jest konieczne nawet specjalne szkolenie z obsługi programu. Wystarczy wiedza inżynierska pozwalająca poprawnie zadać warunki obciążenia i podparcia analizowanej części, a resztę zrobi program.

Ponieważ MSC/InCheck jest członkiem wielkiej rodziny programów firmy MSC i wykorzystuje procesor obliczeniowy programu MSC/NASTRAN, to model obliczeniowy utworzony w MSC/InCheck może być przeniesiony do MSC/NASTRAN w celu prowadzenia bardziej zaawansowanych obliczeń.

Prostota obsługi programu, funkcjonalność i szeroka gama możliwości obliczeniowych oraz jego rozwój to cechy, które pozycjonują program MSC/InCheck jako coraz bardziej potrzebne narzędzie w codziennej pracy konstruktora, silnie wspomagające proces projektowania.

Fabian Stasiak