

Alicja **ZIELIŃSKA**
Piotr **WYCIŚŁOK**

OBLICZENIA MES JAKO ELEMENT PROCESU PROJEKTOWANIA

Streszczenie: W artykule zaprezentowano wykorzystanie metody elementów skończonych (MES), która jest obecnie znaczącym elementem procesu projektowania. Pozwala ona na weryfikację konstrukcji już na etapie projektowania, co czyni tę metodą bardzo przydatną. Niebagatelną sprawą są również względy ekonomiczne. Metoda MES pozwala zoptymalizować konstrukcję w fazie projektowania, czyli wpłynąć na obniżkę kosztów produkcji wyrobu. Wykorzystanie tej metody zaprezentowano na przykładach projektów wykonanych w OBRUM.

1. KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PRAC PROJEKTOWYCH

1.1. Krótka historia wdrażania technik komputerowych

W całej historii Ośrodka oprogramowanie wykorzystywane w pracach B+R było tworzone od podstaw przez pracowników. Był to jednak sposób, który ze względu na postępującą gwałtownie specjalizację, musiał odejść na dalszy plan. Ostatnie dziesięć lat wniosło znaczący postęp w technikach elektronicznego wspomaganie prac inżynierskich stosowanych w Ośrodku. Przełomową chwilą, zmieniającą dotychczasową drogę rozwoju omawianych technik, było dla OBRUM uczestnictwo w programie Goryl. W ramach tego właśnie projektu stworzono koncepcję wdrożenia do codziennej praktyki komputerowych metod wspomaganie projektowania. Wdrażana koncepcja opierała się na trzech warstwach problemowych.

U podstaw leżało wspomaganie tworzenia dokumentacji technicznej i podstawowych technik projektowych. Po dokonaniu rozpoznaniu rynku zdecydowano się na zakupienie systemu rysowania płaskiego LOGOCAD wspomaganego oprogramowaniem zarządzającym tworzoną dokumentacją LOGOARCHIV.

Warstwę drugą stworzyło oprogramowanie do wspomaganie zaawansowanego projektowania przestrzennego. Tu wybrano wiodącego w owym czasie producenta (50% rynku) firmę Computer Vision i jej produkt oprogramowanie CADD5. Ciekawostką tego programu był pionierska w świecie technika projektowania parametrycznego.

I wreszcie warstwę trzecią stanowiło oprogramowanie do analiz wytrzymałościowych. Wdrożenie tej warstwy oparto o oprogramowanie amerykańskiej firmy SRAC o nazwie COSMOS/M[1].

W ramach programu Goryl przeprowadzono udane wdrożenie warstwy pierwszej i trzeciej. Oprogramowanie do przestrzennego projektowania wdrożono częściowo. Na przeszkodzie stanęły wysokie koszty wdrożenia i przerwanie projektu Goryl. Przy ocenie tego wdrożenia należy jednak pamiętać o odmiennych realiach tamtego wdrożenia. Stacja robocza wraz z oprogramowaniem kosztowała w 1993 roku w granicach 50-60 tysięcy dolarów. Tym niemniej oprogramowanie 3D stosowano z powodzeniem do przygotowywania danych dla obliczeń wytrzymałościowych. Jednym z podstawowych efektów wdrożenia komputerów do praktyki inżynierskiej stał się ciągły ich niedosyt. Kolejne lata to gwałtowny przyrost ilości stacji roboczych i oprogramowania do nich. Jednocześnie następowało stałe unowocześnianie

oprogramowania. Kolejne wersję oprogramowania LOGOCAD wraz z coraz doskonalszym oprogramowaniem do zarządzania dokumentacją, na trwałe przekształciły sposób tworzenia projektów w Ośrodku. Zapewniając poprawę jakości i wydajności wykonywanej pracy.

Prace B+R to jednak przede wszystkim prace nietypowe. W tych właśnie warunkach okazuje się, że komercyjne oprogramowanie zawodzi lub nie jest dostateczne. Tak, więc ostatnie lata nie spowodowały zaniechania rozwijania własnych aplikacji inżynierskich. Stały się one jednak wąsko specjalistyczne, rozwijane doraźnie dla rozwiązania doraźnych zadań.

Niewątpliwą ciekawostką związaną z wdrożeniem do praktyki inżyniera technik komputerowych, którą można było dostrzec również w pracach Ośrodka jest powrót do łask, zdawałoby się zapomnianych, graficznych metod obliczeniowych. Metody te, bowiem z założenia przybliżone, dzięki komputerowym technikom wspomaganiamu rysowania, stały się metodami dokładnymi.

2. KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PRAC INŻYNIERSKICH

2.1. Krótka historia wdrażania technik inżynierskich

W dziedzinie CAE największym przeskokiem jaki dokonał się było pojawienie się rozbudowanego oprogramowania COSMOS/M [1] służącego do analiz wytrzymałościowych metodą elementów skończonych [3]. Na przestrzeni tych lat zespół ds. obliczeń inżynierskich wykonał liczne analizy, dotykając swoimi pracami pełnego spektrum teorii wytrzymałości materiałów. Zaczynając od analiz statycznych w zakresie liniowym poprzez analizy dynamicznego zachowania konstrukcji w zakresie liniowym po nieliniową analizę statyczną i dynamiczną. Należy podkreślić, że pewnych konstrukcji, bez przeprowadzonych obliczeń, nie dałoby się wykonać, a przynajmniej nie przy „pierwszej próbie”. Jeżeli weźmiemy pod uwagę projekty takie jak choćby Mydleniec, PMC, Loara, BWP 2000, MID, CAR, JBR, żeby wymienić zaledwie kilka to wszędzie tam swój znaczący udział miał zespół zajmujący się obliczeniami inżynierskimi. Miarą sukcesu zespołu jest rola jaką odgrywa w procesie projektowania. W swoich początkach obliczenia komputerowe były zazwyczaj dodatkiem do projektu, w chwili obecnej są elementarną częścią składową.

2.2. Prace inżynierskie w OBRUM - stan aktualny

Nowe konstrukcje powstające w OBRUM w ostatnich kilku latach postawiły przed zespołem duże wyzwania. Projekty, o których mowa to ustroje nośne anten radarowych poczynając od projektu CAR (czy wcześniejszych, a ostatnio modernizowanych SPR'ów). Specyfiką tych urządzeń jest prymat wyzwań związanych ze sztywnością konstrukcji nad wytrzymałością, przy bardzo silnych ograniczeniach masowych.

W ciągu tych lat, w miarę ulepszania warsztatu inżynierskiego oraz rozwoju oprogramowania doskonaleniu ulegał proces współpracy pomiędzy bezpośrednimi projektantami i zespołem obliczeniowym. W chwili obecnej proces wygląda następująco. Pierwsze analizy projektowe tworzone są przy bezpośrednim udziale zespołu obliczeniowego. Na tym etapie zespół tworzy analizy kinematyczne, statyczne bądź rozstrzyga podstawowe problemy na podstawie analizy mechaniki konstrukcji. Nie bez znaczenia jest też doświadczenie pracowników zespołu, które wielokrotnie pozwala na nadanie właściwego kierunku dalszym pracom projektowym. Następnie na bazie tych analiz projektant wykonuje wstępny projekt konstrukcji. W chwili obecnej w zdecydowanej większości w technice

projektowania przestrzennego. Taki projekt jest następnie weryfikowany poprzez obliczenia metodą elementów skończonych [2]. W ich wyniku projektant nanosi konieczne poprawki. Jeżeli zmiany wynikłe z obliczeń są duże cały cykl jest powtarzany. Następnie tworzony jest projekt ostateczny. Na tym etapie już niezmiernie rzadko zachodzi konieczność weryfikacji obliczeń, zdarza się to jednak, gdy inne konieczności techniczne spowodują znaczące zmiany w konstrukcji. Przedstawiony proces udowodnił swoją przydatność zwłaszcza, że czas trwania obliczeń uległ w ostatnich latach znaczącemu skróceniu.

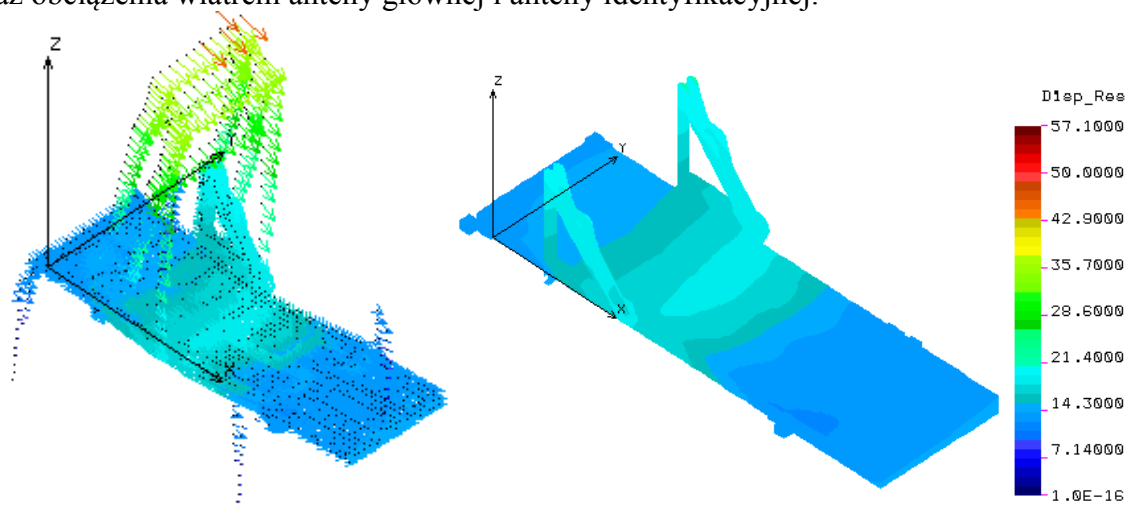
3. METODA MES JAKO ZNACZĄCY ELEMENT PROCESU PROJEKTOWANIA

Metoda elementów skończonych znana od szeregu lat, stosowana w Polsce od około 30-tu pozwala na skrócenie etapu projektowania oraz na uzyskanie maksymalnie szerokiego zakresu wyników na etapie tworzenia modelu konstrukcji. Niebagatelne znaczenie ma uzyskanie i innych ważnych parametrów konstrukcji, a mianowicie dobranie odpowiedniej sztywności oraz optymalizacja całej konstrukcji ze względu na bardzo ważny parametr, jakim jest masa całej konstrukcji. Dobór odpowiednich materiałów konstrukcyjnych to również element optymalizacji konstrukcji ze względu na jego masę. MES pozwala na weryfikację konstrukcji na etapie projektowania, co zostanie przedstawione na kilku przykładach konstrukcji zaprojektowanych i wykonanych w naszym Ośrodku. Jedną z nich jest konstrukcja platformy jednostki radiolokacyjnej [6].

3.1. Konstrukcja platformy jednostki radiolokacyjnej JBR-15

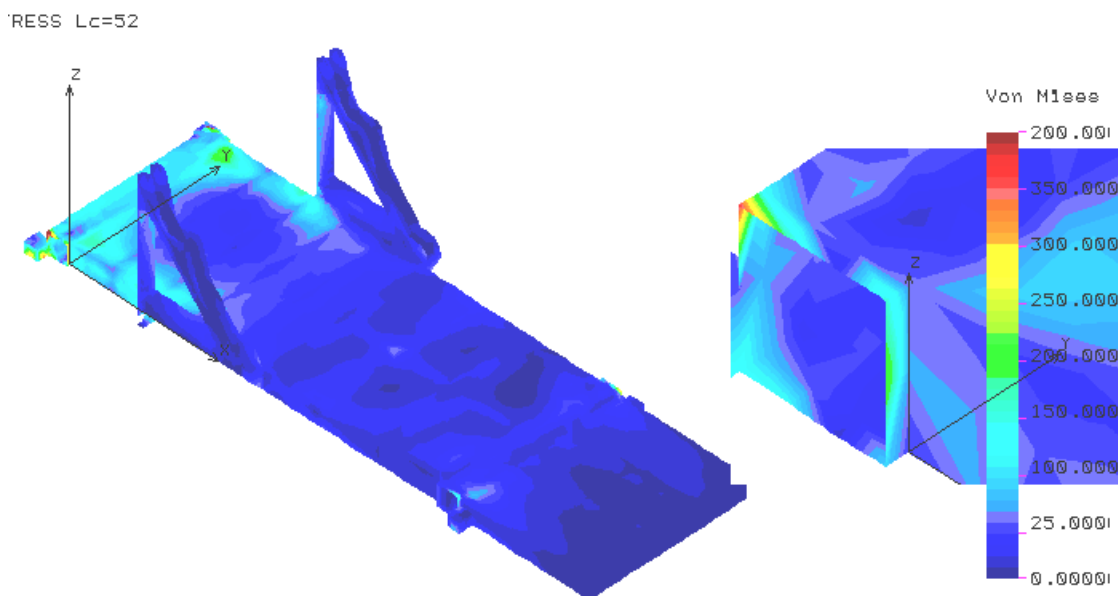
Istotnym zagadnieniem przy analizie wytrzymałościowej platformy jednostki radiolokacyjnej było spełnienie wymagań dotyczących jej sztywności, co wstępnie zostało rozstrzygnięte po analizie wyników uzyskanych poprzez symulację komputerową.

Poniżej zaprezentowano przykładowe wyniki prace uzyskane nad weryfikacją doboru parametrów jednostki radiolokacyjnej, konstrukcji, w skład, której wchodzi paleta kontenerowa wraz z podporami oraz ramowy układ wsporczy. Symulację komputerową przeprowadzono dla obciążeń masowych, sił odśrodkowych występujących podczas obrotu oraz obciążenia wiatrem anteny głównej i anteny identyfikacyjnej.



Rys.1. Wektory przemieszczeń wynikowych dla wariantu 1 obciążenia w mm. Deformacja w skali 25:1.

W fazie projektowania wykonano obliczenia wytrzymałości konstrukcji platformy, której wyniki [6] pozwoliły na weryfikację konstrukcji platformy jednostki radiolokacyjnej pod kątem uzyskania przyjętych parametrów. Na etapie wykonywania obliczeń wytrzymałości konstrukcji platformy uzyskano wyniki pola przemieszczeń oraz pola naprężeń w modelu konstrukcji platformy jednostki radiolokacyjnej. Wyniki te były podstawą do wprowadzenie istotnych zmian w elementach konstrukcji. Przykładowe wyniki obliczeń w analizowanej konstrukcji pod wpływem obciążeń zewnętrznych w pozycji pracy (układ na podporach) przedstawiono na (Rys.1) - rozkład pola przemieszczeń i (Rys.2)- rozkład pola naprężeń.



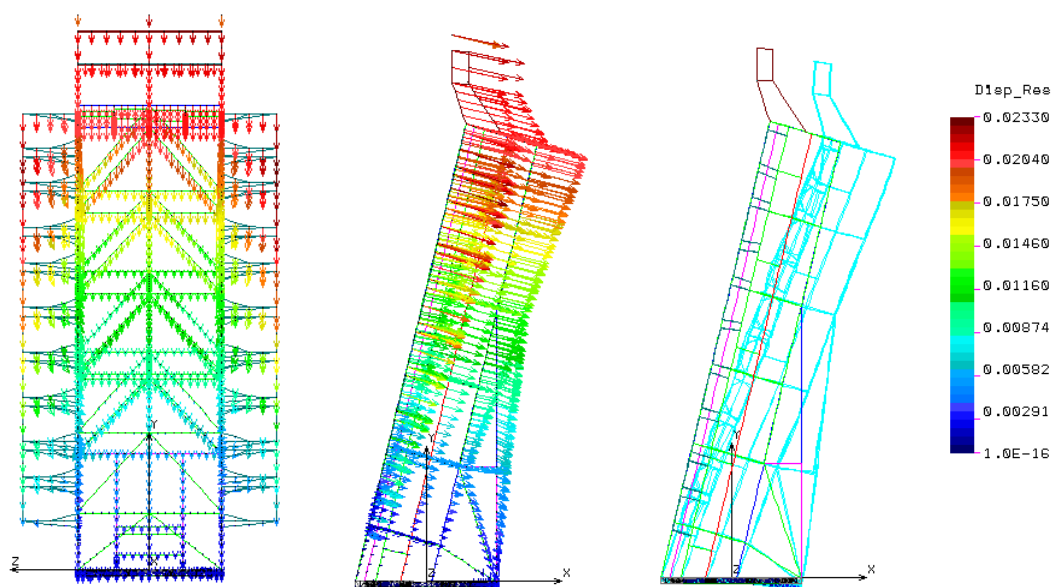
Rys.2. Naprężenia zredukowane występujące w modelu palety dla wynikowego 2-go wariantu obciążenia w MPa .-widok z góry.

3.2. Optymalizacja wytrzymałości konstrukcji kabiny antenowej jednostki JAT-122

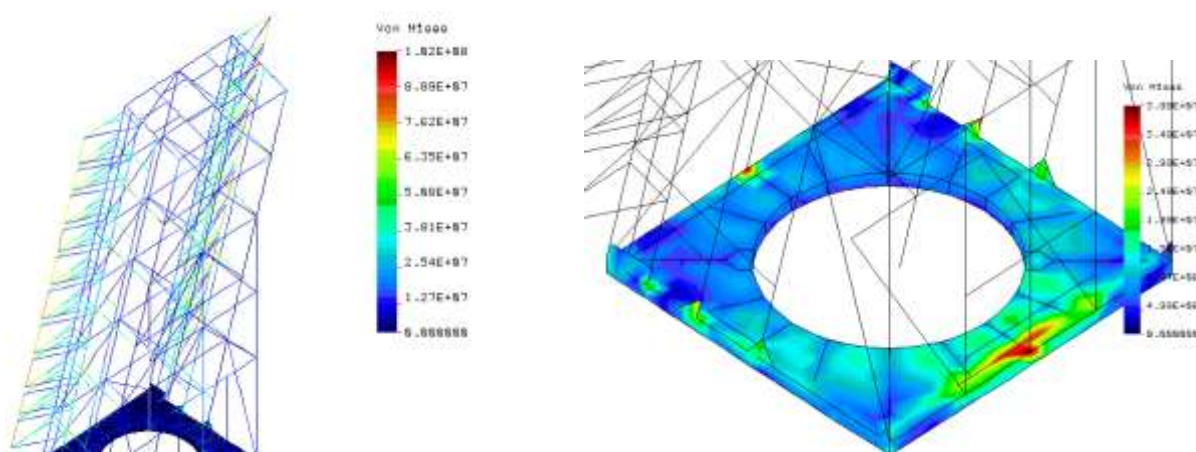
Kolejnym przykładem analizy jest kabina antenowa KAN-122 - podstawowa część mechaniczna jednostki antenowej JAT-122, która wraz ze wspornikami służy do zawieszania bloków antenowych stanowiących zasadnicze obciążenie tej kabiny [7].

Symulację komputerową przeprowadzono dla obciążeń masowych, sił odśrodkowych występujących podczas obrotu oraz obciążenia wiatrem anteny głównej i anteny identyfikacyjnej.

Istotnym zagadnieniem przy analizie wytrzymałościowej kabiny antenowej było spełnienie wymagań dotyczących jej odkształcenia pod wpływem obciążeń. Kolejny aspekt to rozstrzygnięcie, czy konstrukcja spełnia dodatkowe wymagania w zakresie obciążenia wiatrem. Pierwotnie bowiem konstrukcja miała pracować pod kopułą i ten warunek nie był wymagany. Poniżej przedstawiono przykładowo rozkład pola przemieszczeń – wektorowo (Rys.3) i mapkę naprężeń (Rys.4) w widoku ogólnym całej konstrukcji oraz fragmentu kabiny.



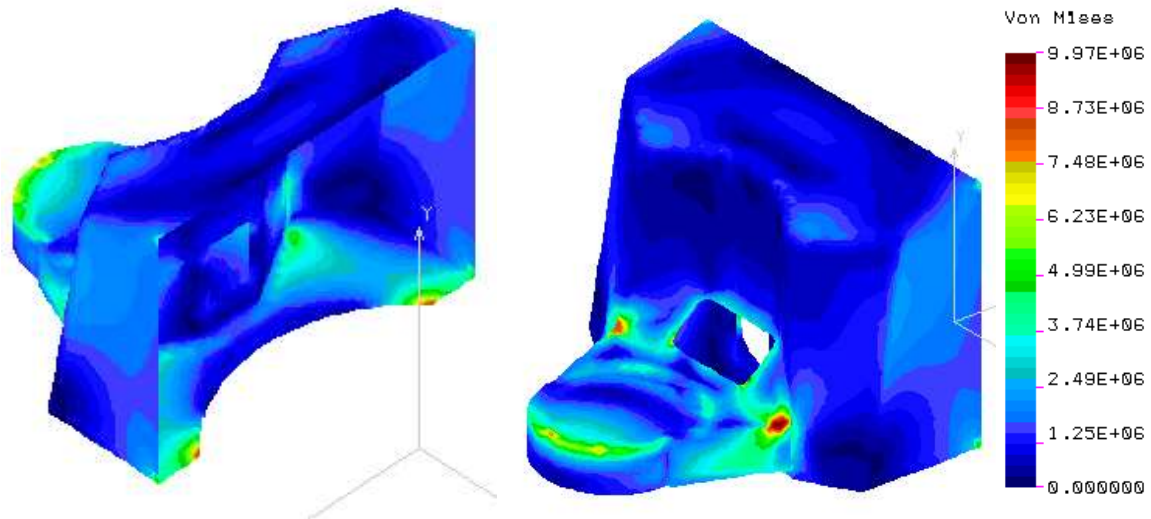
Rys.3. Wektory przemieszczeń oraz deformacja dla 2-go wariantu wynikowego obciążenia.



Rys.4. Naprężenia redukowane występujące w modelu dla 1-go wynikowego wariantu obciążenia [MPa].

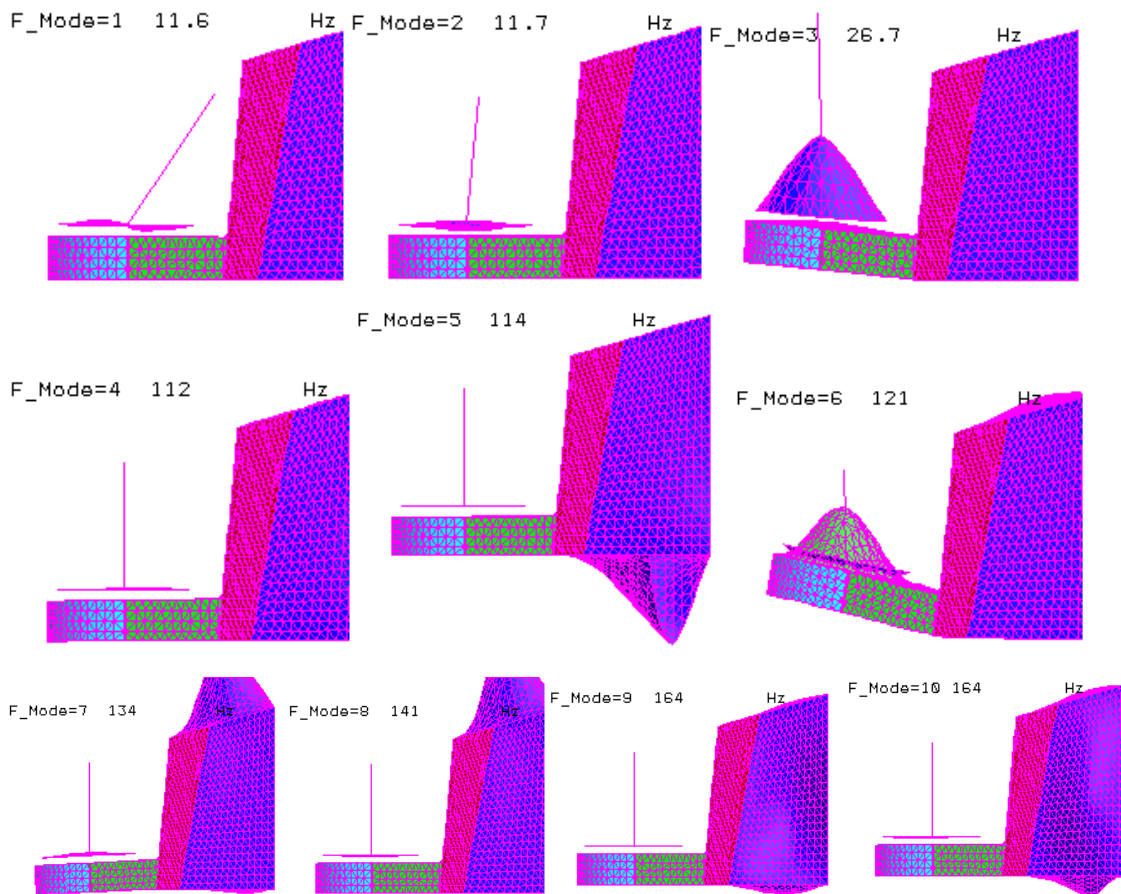
3.3. Symulacja zachowania się konstrukcji platformy montażowej wozu bojowego

Symulacja zachowania się konstrukcji platformy montażowej wozu bojowego [5] była wynikiem analizy statycznej i dynamicznej platformy montażowej głowicy śledzącej pod wpływem obciążeń zgodnych z ZTT, zadanych na podstawie wyników badań. Analizowana konstrukcja platformy montażowej jest częścią wieży wozu bojowego. Symulację przeprowadzono w zakresie obciążeń masowych, wpływu parcia wiatru na konstrukcję oraz sił odśrodkowych. Jako podstawę obciążeń dynamicznych przyjęto przebiegi zmierzone na rzeczywistym obiekcie. Analizę przeprowadzono na modelu platformy montażowej z uproszczonym modelem wieży. Istotnym elementem symulacji jest możliwość weryfikacji na obiekcie wirtualnym zachowania się konstrukcji pod kątem spełnienia wymagań w zakresie sztywności platformy, na której umieszczona jest głowica śledząca. Poniżej na (Rys.4) , (Rys.5) przedstawiono wybrane wyniki analizy statycznej.



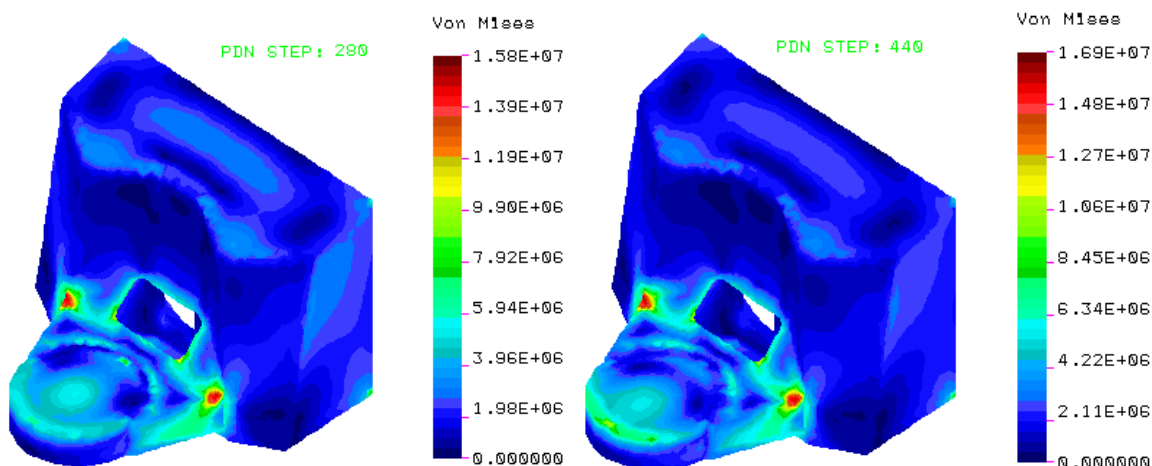
Rys.5. Rozkład naprężeń zredukowanych w [MPa].

Dla analizy dynamicznej uzyskuje się oprócz pola naprężeń i przemieszczeń dla wybranych kroków czasowych postaci drgań własnych, co przedstawiono na (Rys.6)



Rys.6. Postaci drgań własnych modelu platformy montażowej

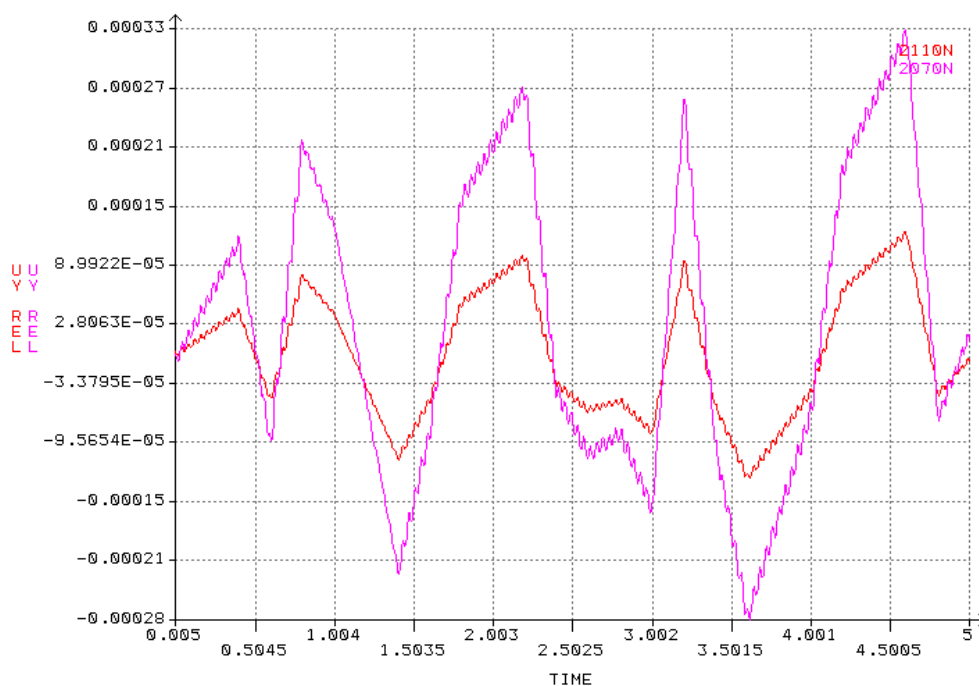
Kolejne rysunki (Rys.7, Rys.8) przedstawiają wyniki analizy dynamicznej – rozkład pola naprężeń dla wybranych kroków czasowych. Rozkład pola naprężeń uzyskuje się w całym przedziale czasu dla dowolnego kroku.



Rys.7. Naprężenia w modelu dla $t=1.4$

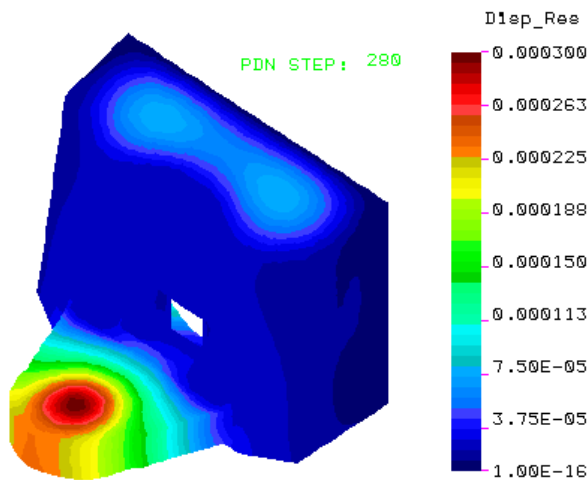
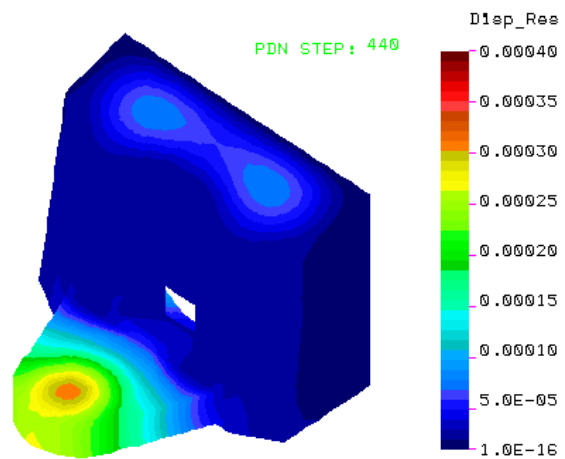
Rys.8. Naprężenia dla $t=2.2$ s

Na rysunku poniżej przykładowo przedstawiono możliwe do uzyskania przebiegi czasowe przemieszczeń wybranych węzłów konstrukcji.



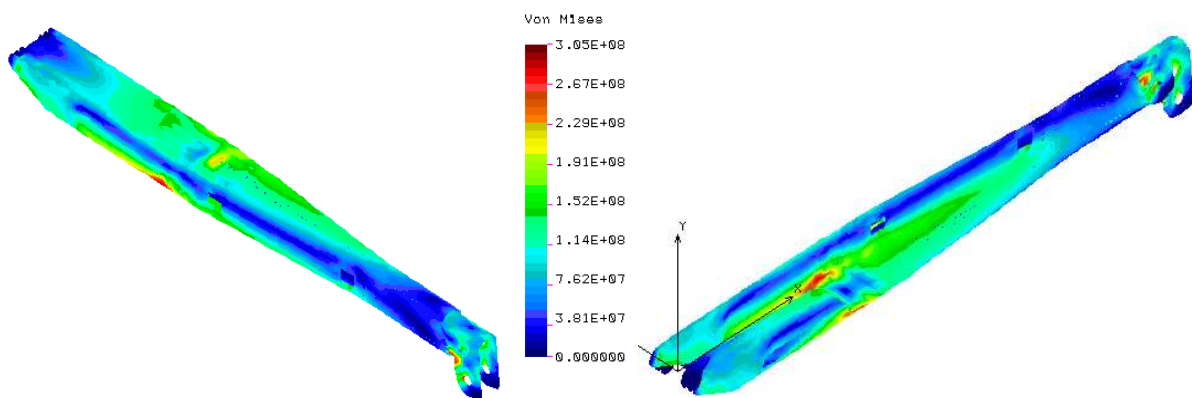
Rys.9. Przebieg przemieszczeń węzłów określających pochylenie platformy montażowej

W wyniku symulacji otrzymano pole przemieszczeń pod wpływem obciążeń. Powyższe wyniki przedstawiają możliwości uzyskania pełnej gamy wyników dla analizowanej konstrukcji. Poniżej na **Rys.10**, przedstawiono rozkład pola przemieszczeń modelu w trakcie wybranych kroków czasowych. Maksymalne ugięcie platformy montażowej wynosi 0.172 mm. Rysunek przedstawia deformację w powiększeniu. Obraz przemieszczeń przedstawiono na kolejnych rysunkach.

Rys.10. Przemieszczenia dla $t=1.4$ sRys.11. Przemieszczenia dla $t=2.2$ s

3.4. Weryfikacja wytrzymałości wysięgnika

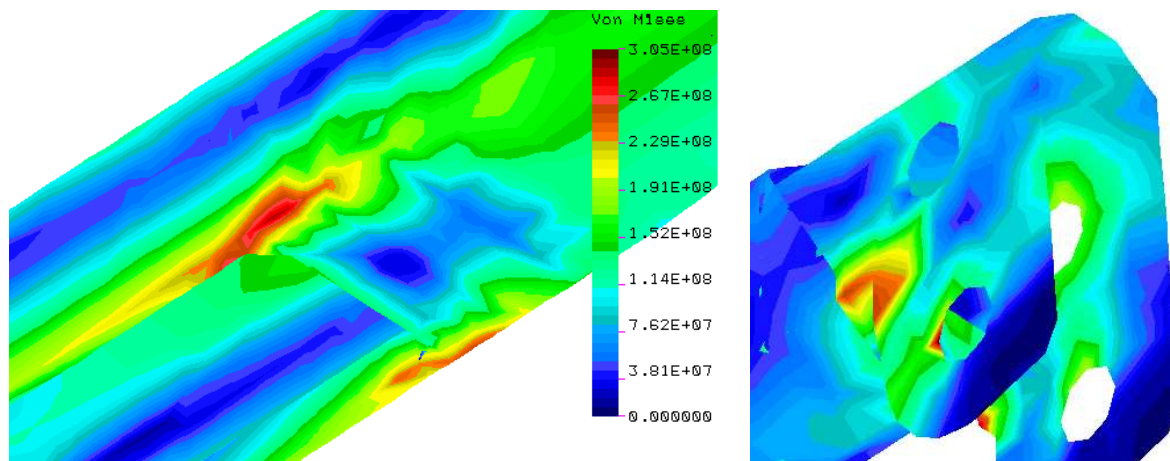
Kolejną weryfikację konstrukcji przedstawiono na przykładzie konstrukcji wysięgnika] o udźwigu 19T. Analizę wytrzymałościową [8] przeprowadzono również za pomocą metody elementów skończonych zaimplementowaną w systemie COSMOS/M weryfikując konstrukcję w zakresie założonych obciążeń. Poniżej przedstawiono wyniki analizy, jakie uzyskano dla wysięgnika. W analizie statycznej uzyskano wytyężenie konstrukcji, które przedstawiają Rys.12, Rys.13 Rys.14.



Rys.12. Rozkład pola naprężeń dla wysięgnika

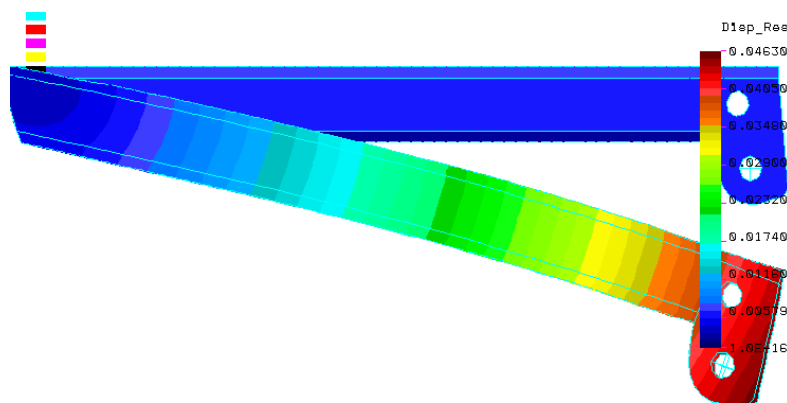
Model całego wysięgnika składa się z dwóch części, modelu członu stałego i ruchomego wykonanych oddzielnie, a następnie połączonych za pomocą odpowiednio dobranych więzów. W tym przypadku zadane obciążenie działa na człony wysięgnika podniesionego o kąt 72.5 stopnia.

W wyniku analizy konstrukcji otrzymuje się rozkład pola naprężeń oraz pola przemieszczeń. Uzyskano, że maksymalne naprężenia redukowane wg hipotezy H-M-H występujące w modelu nie przekraczają 305 MPa. Poziom naprężeń w konstrukcji jest, więc poniżej wartości dopuszczalnych. Poniżej przedstawiono rozkład naprężeń w najbardziej wytyężonych fragmentach konstrukcji.



Rys.13. Rozkład pola naprężeń – fragmenty konstrukcji

Analogicznie uzyskano rozkład pola przemieszczeń, które przedstawiono na kolejnym rysunku. Konstrukcję odkształconą w skali pokazano na tle konstrukcji nieodkształconej.



Rys.14. Przemieszczenia w konstrukcji wysięgnika

Maksymalne przemieszczenie wysięgnika wynoszą 0.0463 m. Przeprowadzona analiza wykazała, że konstrukcja spełnia wymagania wytrzymałościowe dla obciążeń statycznych.

4. PODSUMOWANIE

Techniki komputerowe są nieodzownym elementem współczesnego procesu projektowania, a zwłaszcza w zastosowaniu do prac badawczo-rozwojowych.

Warto zwrócić uwagę na trwające w OBRUM prace nad kolejnym skokiem technologicznym w komputeryzacji prac inżynierskich. W chwili obecnej trwają prace związane z wyborem nowego oprogramowania. Tym razem w pełni zintegrowanego tzn. takiego, w którym jednocześnie powstaje projekt całości, części składowych (detali), jednocześnie wykonywane są rysunki techniczne jak i możliwe jest przeliczenie wytrzymałościowe konstruowanych detali i całych konstrukcji. Zakończenie tych prac wdrożeniem pozwoli na kolejny już w historii OBRUM skok jakości i wydajności. Tak, aby w nowym stuleciu Ośrodek mógł zachować swoją rangę i zdobytą ciężką pracą renomę.

5. LITERATURA

- [1] Cosmos/M, Finite Element Analysis System Advanced Seminar. Structural Research & Analysis Corporation, Santa Monica 1993, California.
- [2] RUSIŃSKI E.: Metoda elementów skończonych - system Cosmos/M, WKŁ Warszawa 1994.
- [3] ZIENKIEWICZ O.C., TAYLOR R.L.: Thy Finite Element Method, Fourth edition, 1991.
- [4] WYCIŚŁOK P., ZIELIŃSKA A.: Analiza wytrzymałości konstrukcji wieży Loara z uwzględnieniem oddziaływań dynamicznych, (Prace własne niepublikowane) OBRUM Gliwice 1997.
- [5] WYCIŚŁOK P., ZIELIŃSKA A.: Analiza wytrzymałości konstrukcji platformy montażowej głowicy śledzącej z uwzględnieniem oddziaływań dynamicznych, (Prace własne niepublikowane) OBRUM Gliwice 1997.
- [6] WYCIŚŁOK P., ZIELIŃSKA A.: Analiza układów platformy bezobsługowej jednostki radiolokacyjnej pojazdu JBR-15, (Prace własne niepublikowane) OBRUM Gliwice 1999.
- [7] ZIELIŃSKA A.: Obliczenia wytrzymałościowe kabiny antenowej jednostki JAT-122, (Prace własne niepublikowane) OBRUM Gliwice 2001.
- [8] ZIELIŃSKA A. Analiza wytrzymałości wysięgnika żurawia TD50H, (Prace własne niepublikowane) OBRUM Gliwice 2002.

FINITE ELEMENT METHOD AS A SIGNIFICANT ELEMENT OF DESIGN PROCESS

Abstract: The paper presents utilization of the Finite Element Method (FEM), which is at present a significant element of a technical design process . This method allows us to verify construction at the stage of design, what makes FEM very useful. Economical aspect is also very important. FEM method allows us to optimize construction during designing process, i.e. to decrease cost of production . Utilization of this method is presented on examples of the designs made in OBRUM.