

Alicja ZIELIŃSKA

PORÓWNANIE WYNIKÓW OBLICZEŃ WYTRZYMAŁOŚCI KONSTRUKCJI Z BADANIAMI STANOWISKOWYMI

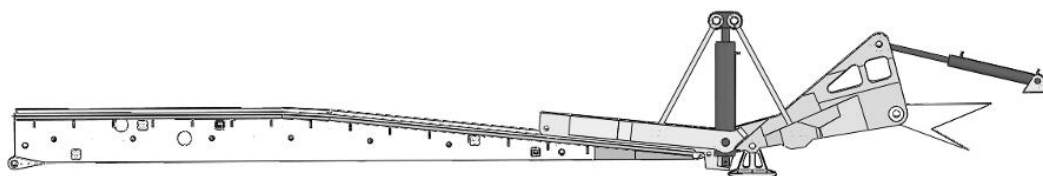
Streszczenie: W artykule opisano proces weryfikacji wyników obliczeń wytrzymałościowych wykonanych dla elementu konstrukcji układacza z wynikami badań wytrzymałościowych przeprowadzonych na obiekcie rzeczywistym. Dokonane zostały analizy rozbieżności wyników i przedstawiono przyczyny ich powstania.

Słowa kluczowe: układacz mostu, ramię chwytnie, obliczenia wytrzymałości MES, wytrzymałość konstrukcji

1. WSTĘP

W procesie projektowania współczesnych pojazdów gąsienicowych oczekiwane jest spełnienie wielu wymagań. Jednym z nich jest możliwość pokonywania przeszkód wodnych lub terenowych, co gwarantuje wykonanie różnorodnych zadań. W celu zapewnienia żądanej ruchliwości wojsk wykorzystywane są różne środki techniczne. Jednym z nich są mosty przevoźne – samochodowe lub gąsienicowe. Przeprawa w wybranym miejscu jest możliwa pod warunkiem położenia na przeszkodzie wodnej – w miarę szybko – przęsła mostu.

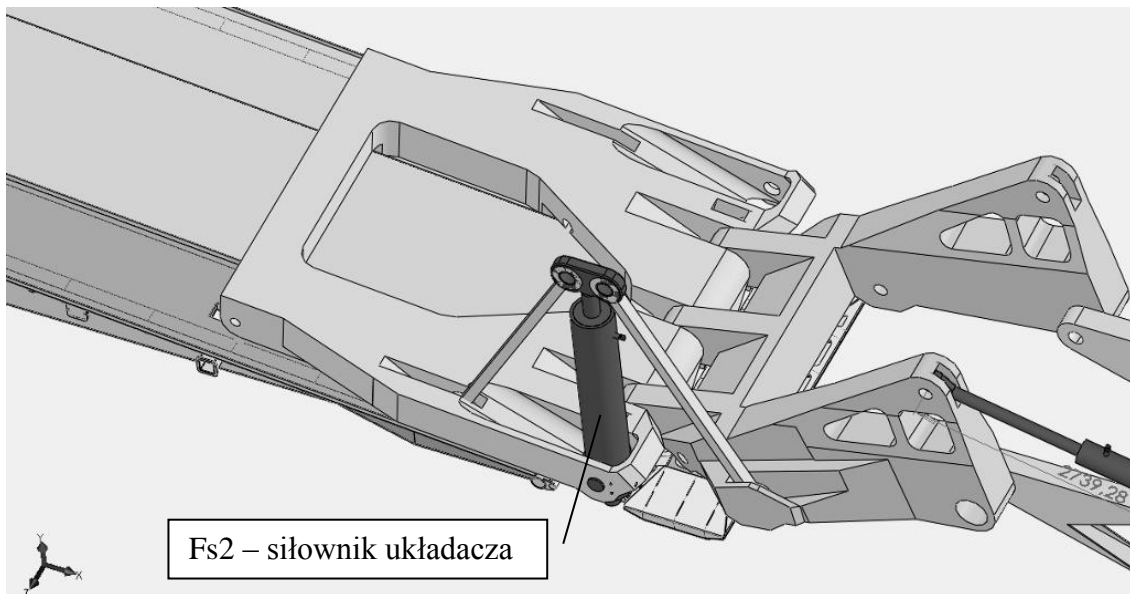
Przedmiotem niniejszego artykułu są obliczenia dotyczące elementu układacza, tj. ramienia chwytającego przęsło mostu, który następnie je obraca i kładzie na przeszkodzie (rys. 1). Analizę przeprowadzono dla wytypowanych dwóch wariantów obciążeń, biorąc pod uwagę maksymalne siły w układzie.



Rys. 1. Widok ogólny ramienia chwytającego układacza

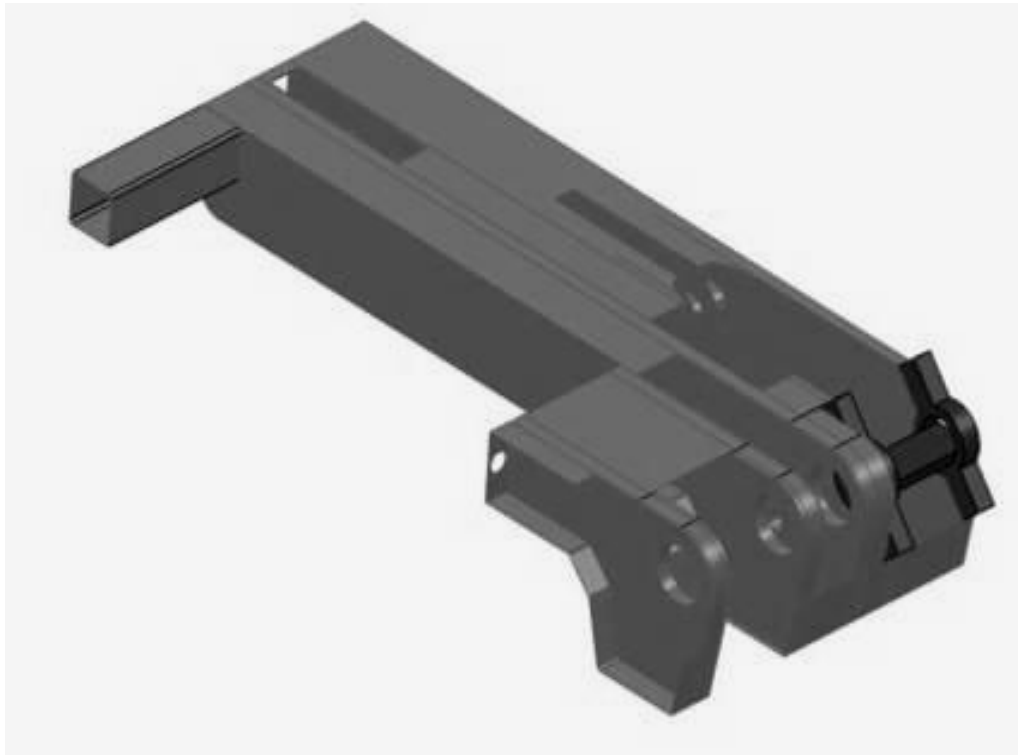
2. WIRTUALNE BADANIA MODELU

Analizy wytrzymałości ramienia chwytającego dokonano za pomocą oprogramowania COSMOSWORKS, z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES) [1]. W celu określenia obciążeń znajdujących się w układzie przeprowadzono analizę sił dla układu w położeniu najbardziej krytycznym dla elementów układacza, tj. pozycja tuż przed położeniem przęsła mostowego na przeszkodzie [2]. Na rys. 2 przedstawiono układacz w pozycji pracy.



Rys. 2. Położenie elementów układacza w pozycji obliczeniowej

Wykorzystując symetrię modelu, do obliczeń wytrzymałości konstrukcji przyjęto połowę modelu ramienia chwytanego (rys. 3).



Rys. 3. Widok modelu obliczeniowego (połowa)

Przeprowadzono analizę statyczną, dla mieszanej siatki modelu: bryłowo-powłokowej dla dwóch wariantów o nazwach: badanie 6_rch, dla którego przyjęto określone warunki brzegowe i obciążenia (tab.1 i tab.2) i badanie 5_rch, pozycja literaturowa [3].

Badanie 6_rch to obliczenia wytrzymałości ramienia chwytneho siłami wynikającymi z obciążenia układacza mostem podczas jego rozłożenia, ale przed jego posadowieniem na przeszkodzie, a badanie 5_rch to obliczenia wytrzymałości ramienia chwytneho siłami wynikającymi z obciążenia układacza mostem podczas jego podnoszenia z położenia transportowego.

Przyjęty materiał skorupy to stal S1100QL. Ilość elementów to 11197 przy liczbie węzłów 23796. Poziom dyskretyzacji siatki został dobrany na podstawie literatury pozycja literaturowa [1] i doświadczeń uzyskanych z poprzednich badań numerycznych.

2.1 Obciążenia i warunki brzegowe

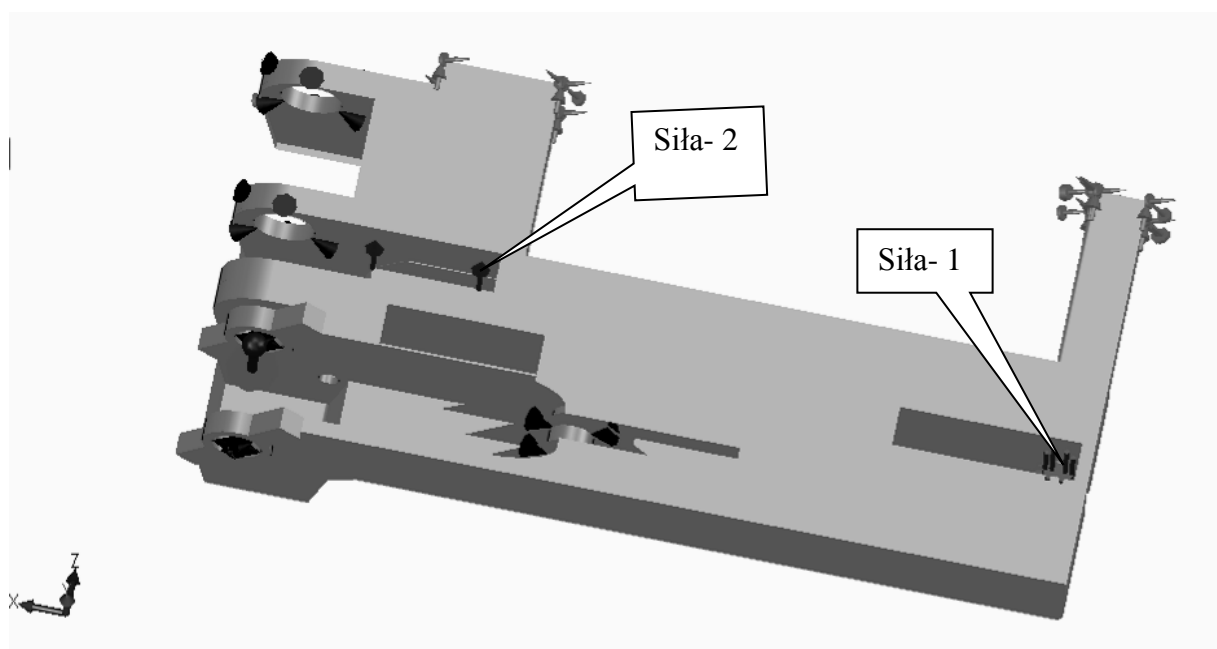
Tablica 1 Warunki brzegowe dla 1. wariantu (badania 6_rch)

Nazwa umocowania	Zestaw wyboru
Geometria odniesienia-1 <powierzchnia-1>	na 16 Krawędź(dzie) w stosunku do geometrii odniesienia Ściana< 1 > z obrót 0.000000 rad wzdłuż płaszczyzny Kierunek 1 obrót 0.000000 rad wzdłuż płaszczyzny Kierunek 2 przemieszczenie 0.000000 mm normalnie do płaszczyzny odniesienia

Tablica 2 Obciążenia dla badania 6_rch

Nazwa obciążenia	Zestaw wyboru	Typ obciążenia
Siła-1 <ucho-1, ucho-2, ucho-3, ucho-4, powierzchnia-1>	na 1 Ściana(y) zastosuj siła 3.23e+005 N normalnie do płaszczyzny odniesienia w stosunku do wybranego odniesienia Ściana< 1 > używając jednorodnej dystrybucji	Obciążanie sekwencyjne
Siła-2 <powierzchnia-1>	na 1 Ściana(y) zastosuj normalną siłę -2.49e+005 N używając jednorodnej dystrybucji	Obciążanie sekwencyjne
Grawitacja-1	Grawitacja w stosunku do Płaszczyzna górna z przyspieszeniem ziemskim -9.81 m/s ² normalnie do płaszczyzny odniesienia	Obciążanie sekwencyjne

Wizualizację warunków brzegowych i obciążenia dla badania 6_rch przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Warunki brzegowe i obciążenia

2.2 Wyniki analizy wytrzymałości ramienia chwytneho

Tablica poniżej zawiera maksimum dla pola naprężeń, przemieszczeń i odkształceń oraz ich lokalizację w modelu.

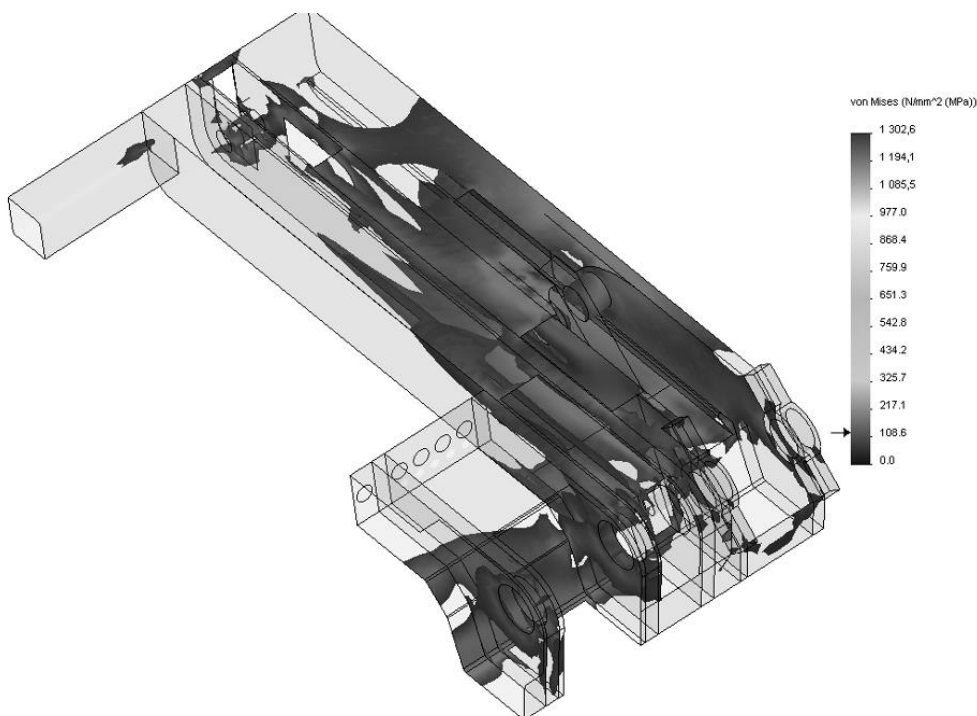
Tablica 3 Zestawienie wyników

Nazwa	Typ	Min	Lokalizacja	Max	Lokalizacja
Naprężenie1	VON: Naprężenie zredukowane wg Misesa	VON: Naprężenie zredukowane wg Misesa	643524 N/m ² Węzeł: 644	(-8.56445 mm, 559.423 mm, -1155 mm)	1.17289e+009 N/m ² Węzeł: 4427
Przemieszczenie1	URES: Wypadkowe przemieszczenie	URES: Wypadkowe przemieszczenie	0.145849 mm Węzeł: 23750	(-1229.09 mm, 457.302 mm, -1230.3 mm)	32.496 mm Węzeł: 22507
Odkształcenie1	ESTRN: Odkształcenie równoważne	7.95008e-006 Element: 8902	(-182.2 mm, 561.113 mm, -144.358 mm)	0.0039784 Element: 11169	(-1234.06 mm, 456.715 mm, -1456.25 mm)

Rozkład pola naprężeń

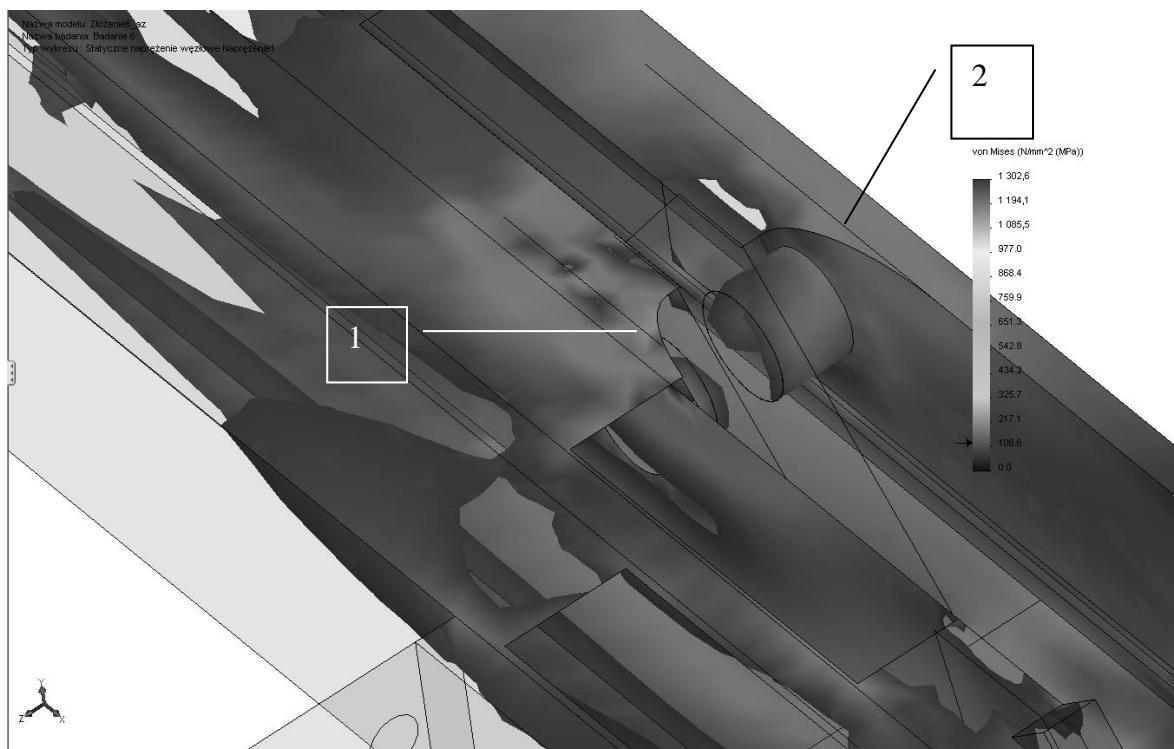
Rozkład naprężeń w konstrukcji przed rozłożeniem przęsła przedstawia rys. 5. Poziom naprężeń w znacznej części tej konstrukcji kształtuje się w przedziale do 400 MPa, w pewnych obszarach dochodzi do 500 MPa i lokalnie przekracza ten poziom.

Na poniższym rysunku przedstawiono rozkład pola naprężeń dla badania 6_rch, ograniczając go powyżej 200 MPa.



Rys. 5. Mapa naprężeń zredukowanych wg Hubera-Misses-Henky'ego w MPa

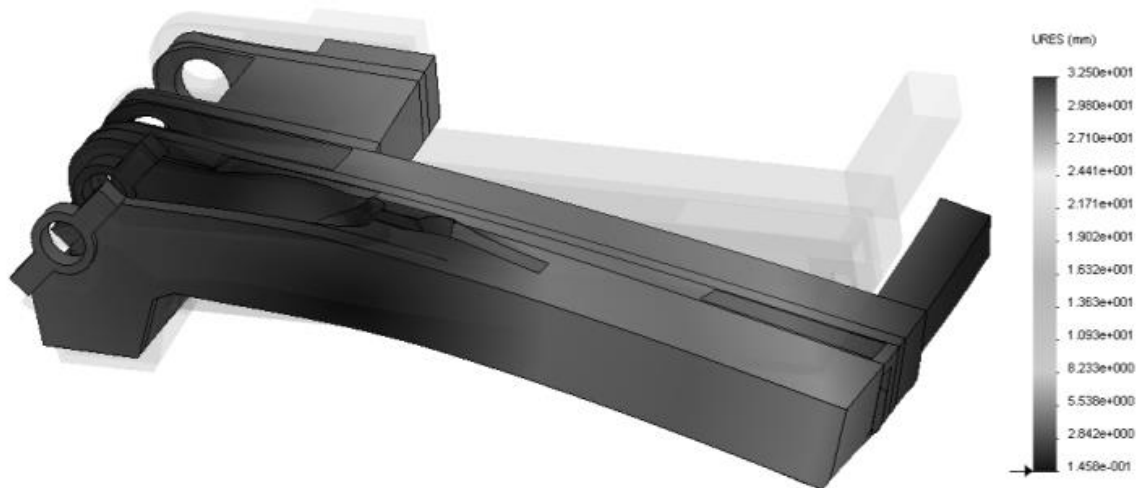
Poniżej przedstawiono interesujący nas obszar w przybliżeniu. Obszar maksymalnych wyteżeń widać od środka ramienia chwytowego (wskazany punkt 1), natomiast na zewnątrz jest znacznie niższy poziom naprężeń (punkt 2).



Rys. 6. Mapa naprężeń zredukowanych wg H-M-H

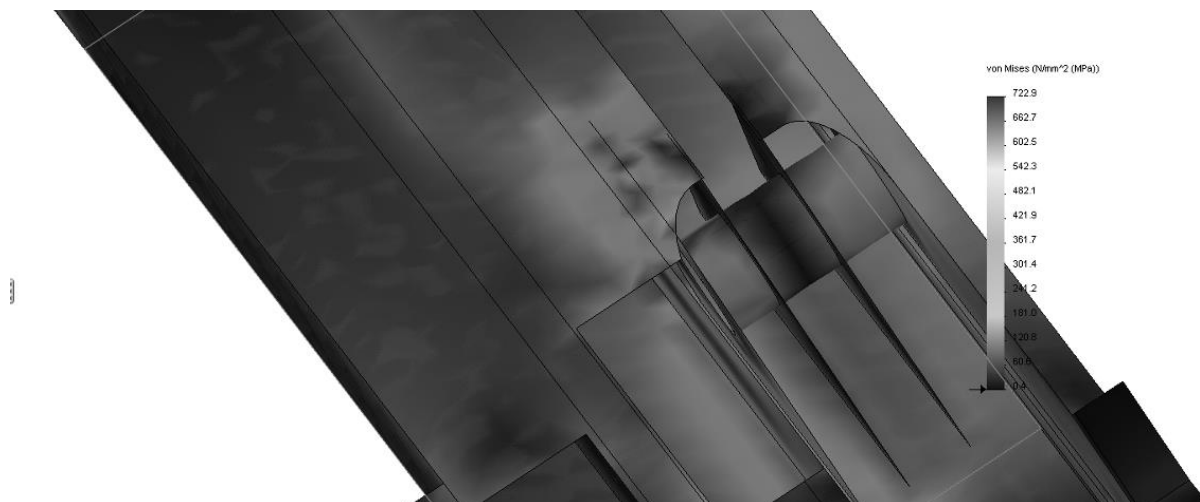
Na kolejnym rysunku przedstawiono również pole przemieszczeń z deformacją.

Rozkład pola przemieszczeń



Rys. 7. Mapa przemieszczeń z deformacją x 20 - widok ogólny

Podobny charakter rozkładu ma mapa naprężeń w przypadku badania 5_rch, co ilustruje kolejny rysunek (rys. 8). Zdecydowanie wyższy poziom naprężeń występuje w obszarze od strony wewnętrznej ramienia chwytanego w pobliżu wycięcia w blasze górnej.



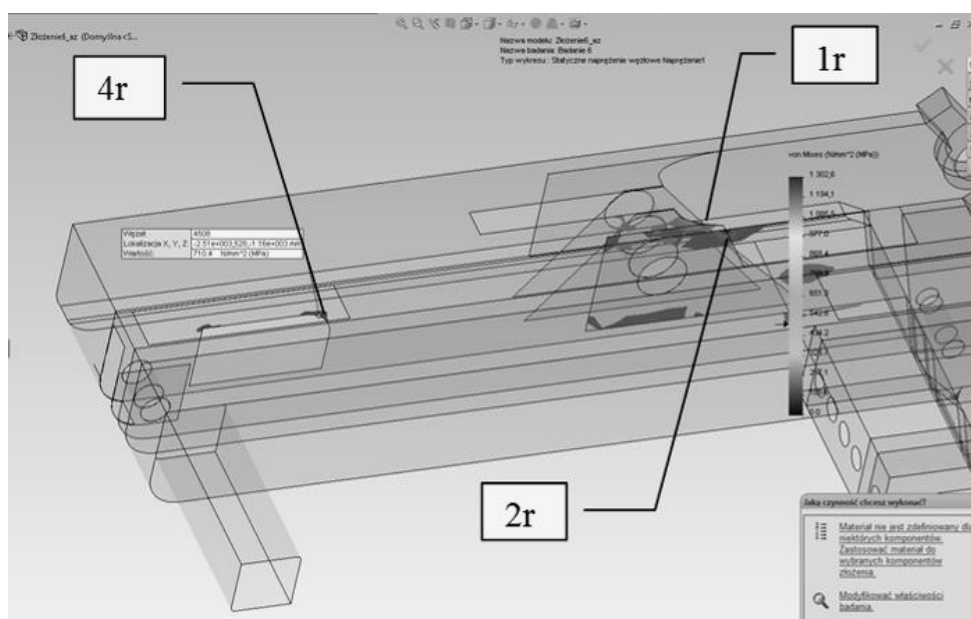
Rys. 8. Mapa naprężeń w MPa – fragment konstrukcji

Zarówno dla badania 5_rch jak i 6_rch rozkład naprężeń w interesującym nas obszarze jest podobny, maksimum jest po tej samej stronie. Zdecydowana różnica jest w poziomie naprężeń, przy czym w wariancie 2. (badanie 5_rch) poziom jest niższy o prawie 500 MPa.

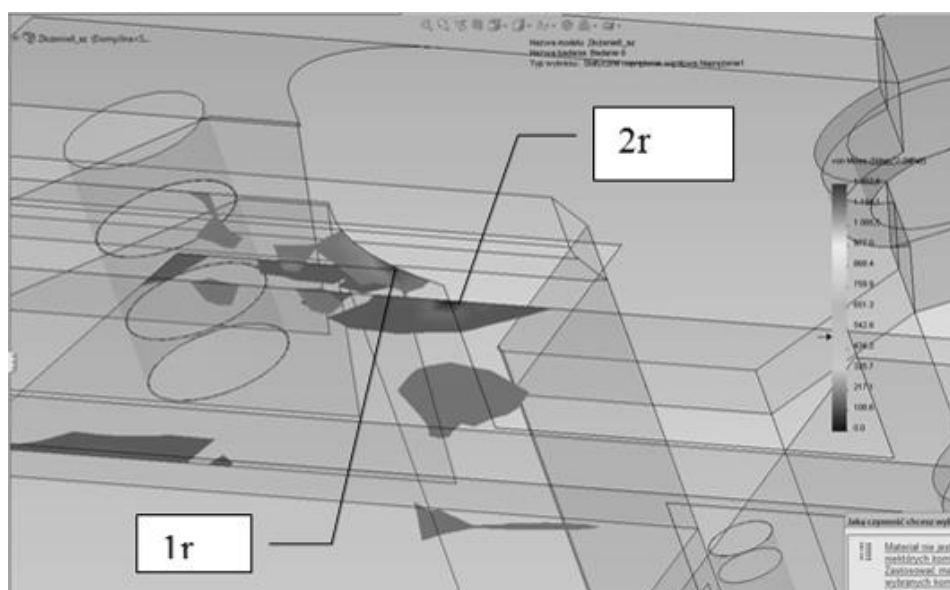
3. BADANIA STANOWISKOWE - WYTYPOWANIE PUNKTÓW TENSOMETRYCZNYCH

Przed przystąpieniem do badań stanowiskowych ramienia chwytneho na podstawie wykonanych obliczeń z wykorzystaniem metody elementów skończonych wytypowano punkty pomiarowe na układaczu, w których występowały maksymalne naprężenia. Na rysunku poniżej przedstawiono trzy z sześciu wytypowanych punktów pomiarowych. Interesującym dla nas jest położenie 1. i 2. punktu pomiarowego, gdzie założono rozety.

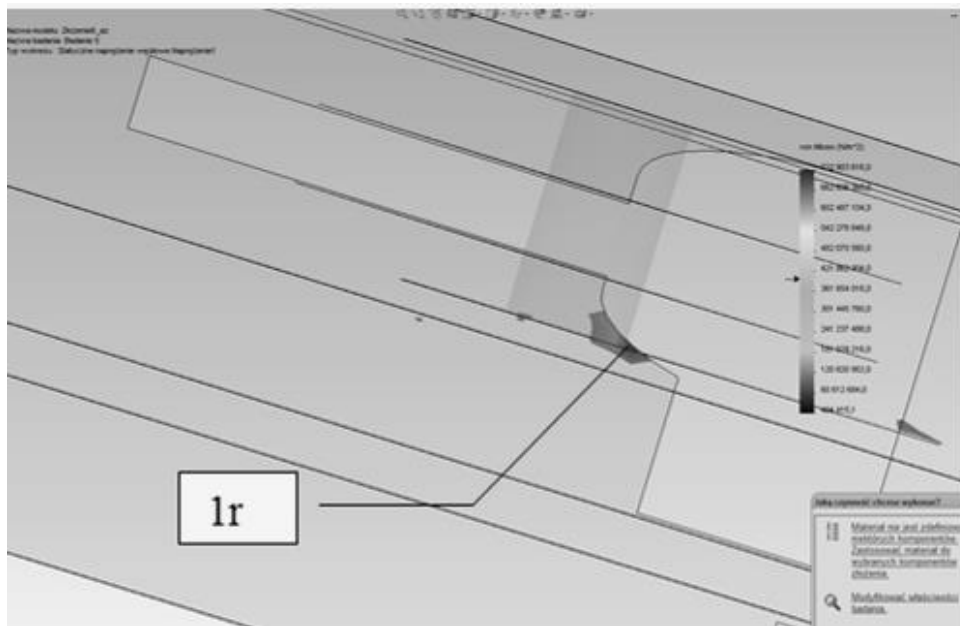
Na rysunku jest połowa modelu układacza. Badania wykonano dla dwóch wariantów obciążenia. W obu przypadkach: badanie 6_rch i badanie 5_rch jak widać na rys. 9, rys. 10 i rys. 11 poziom naprężeń w okolicy w wytypowanych miejscach naklejenia rozet 1r i 2r jest wysoki, natomiast w miejscu symetrycznym względem wycięcia poziom naprężeń jest stosunkowo niski, więc na rysunku nie został wskazany do pomiaru.



Rys. 9. Wskazane punkty pomiarowe na podstawie bad.6_rch



Rys. 10. Wskazane punkty pomiarowe na podstawie bad.6_rch



Rys. 11. Wytypowany punkt pomiarowy na podstawie bad.5_rch

4. WYNIKI BADAŃ TENSOMETRYCZNYCH

Po wykonaniu badań stanowiskowych, zgodnie z typowanymi punktami pomiarowymi, uzyskano pewien rozkład pola naprężeń, który w zasadzie był zgodny z oczekiwaniami co do poziomu naprężeń, jednak jego rozkład był odmienny. Maksimum uzyskane w czasie badań wirtualnych było w innym wskazywanym miejscu niż uzyskano to podczas badań stanowiskowych. Było to na tyle zaskakujące, że zaczęto dociekać przyczyny tego zjawiska. Z pełną zgodnością zwłaszcza co do wysokości naprężeń bywa różnie, ale charakter rozkładu pola naprężeń jest zasadniczo zgodny z obliczeniami. Ponieważ wyniki obliczeń zostały zweryfikowane wcześniej (zostały wykonane wraz z doбором obciążeń przez autorkę) skupiono się na weryfikacji wzorów przeliczeniowych stosowanych w dziale badań.

Weryfikacja używanych do obliczeń wzorów na podstawie mierzonych wartości w trzech kierunkach również była pozytywna. Wątpliwości pozostały nadal, gdyż przyczyn rozbieżności nie wyjaśniono.

5. WERYFIKACJA WARUNKÓW BRZEGOWYCH

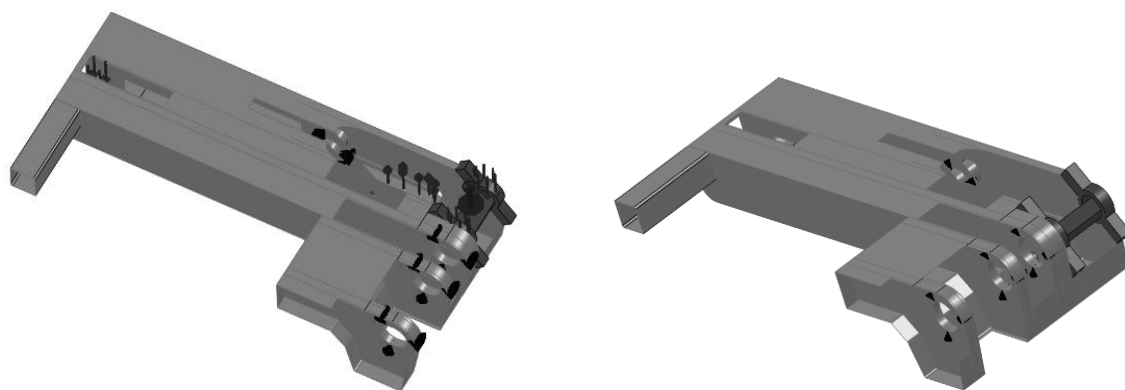
Kolejne oględziny kompletnego wyrobu przyczyniły się do uzyskania dodatkowych informacji, które były podstawą do zweryfikowania wykonanych wcześniej obliczeń.

Otóż brak istotnych informacji na temat zamocowania ramienia chwytowego na wspólnej osi z ramieniem głównym układacza oraz podporą spowodował, że uzyskano odmienny rozkład pola naprężeń. Warunki brzegowe uległy zmianie po uzyskaniu informacji, że wspólna oś (geometrycznie) nie jest osią całościową, lecz dzieloną. Zmiana warunków brzegowych na ogół istotnie wpływa na rozkład naprężeń całej konstrukcji. Tak było też w naszym przypadku, dlatego trudno było skorelować wyniki tensometryczne uzyskane w badaniach stanowiskowych z wynikami komputerowych badań wytrzymałości.

Zostały ustalone ponownie dane wejściowe do modelu, uwzględniające odpowiednie warunki brzegowe, tj. fakt, że oś sworznia, która jest geometrycznie wspólną osią z osią siłownika Fs2 (rys. 2) jest osią oddzielną. Wpłynęło to na oddziaływanie sił i zmieniło jego układ.

Powtórzono badania wirtualne dla zmienionych warunków brzegowych, tym razem odpowiadających rzeczywistości i – jak należało oczekiwać – uzyskano odmienny rozkład naprężeń. Dla uwiarygodnienia tych rozważań przytoczono istotny fragment modelu wraz z polem naprężeń uzyskanych dla zmienionych warunków brzegowych dla wariantu 6_rch.

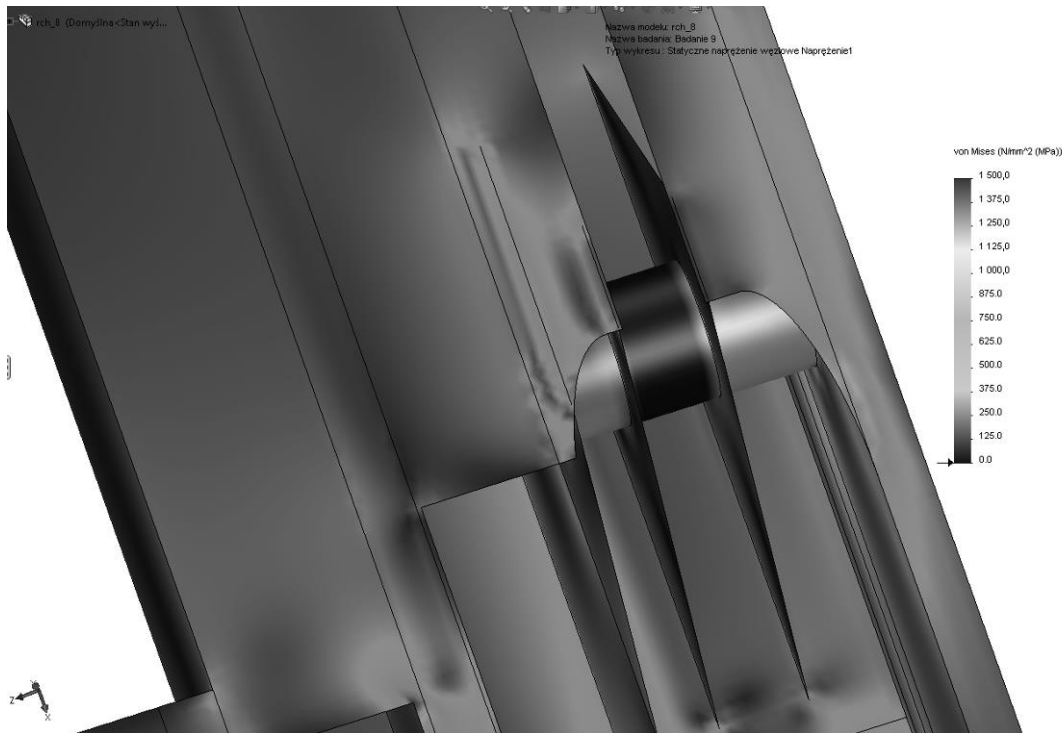
Podobnie jak w modelu poprzednim, siatka w przyjętym modelu była mieszana, a użyte elementy to elementy bryłowe i powłokowe. Poniżej przedstawiono graficznie nowe warunki brzegowe i obciążenia.



Rys. 12. Obciążenia i nowe warunki brzegowe

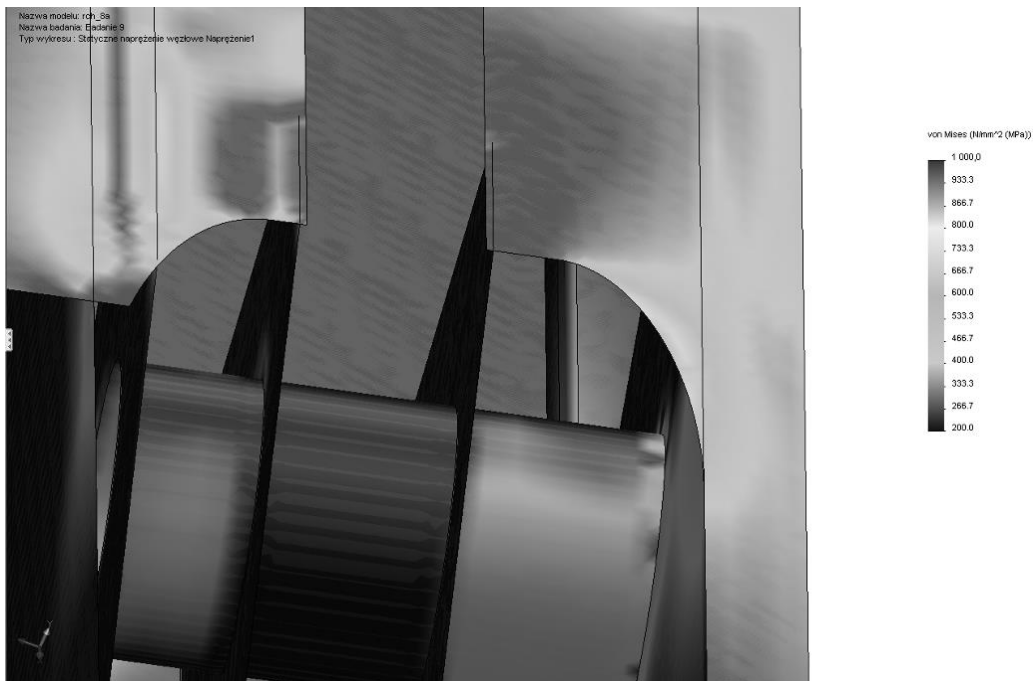


Rys. 13. Rozkład naprężeń z deformacją modelu w skali x 28 w widoku ogólnym



Rys. 14. Mapka naprężeń dla nowych warunków brzegowych

Znacznie lepiej jest to widoczne na rysunku powyżej (rys. 14), gdzie przedstawiono rozkład pola naprężeń w interesującym nas fragmencie konstrukcji. Jak widać tym razem maksimum pojawiło się z drugiej strony wycięcia, zgodnie z badaniami stanowiskowymi. Poniżej przedstawiono mapkę naprężeń dla ograniczonego zakresu naprężeń od 200-1000MPa.



Rys. 15. Mapka naprężeń dla nowych warunków

6. WNIOSKI

1. W wyniku ponownych analiz uzyskano poprawny, zgodny z wynikami pomiarów badań tensometrycznych rozkład pola naprężeń.
2. Badania powyższe wykazały, że warunki brzegowe podobnie jak dane przyjęte do obliczeń mają znaczący wpływ na wyniki obliczeń wytrzymałości konstrukcji.
Podany przykład obliczeń konstrukcji ramienia chwytneho poddany badaniom jest tego dobitnym dowodem.
3. Ponadto należy zauważyć, że niezwykle istotne są badania stanowiskowe w kontekście potwierdzenia badań komputerowych. Jeśli istnieją rozbieżności wyników badań komputerowych i stanowiskowych, to należy poszukiwać ich przyczyn. W naszym przypadku poziom naprężeń właściwie nie budził zastrzeżeń, natomiast wątpliwości dotyczyły wyłącznie rozkładu pola naprężeń. Istotą wszelkich badań jest dociekliwość, czyli analiza wyników i w konsekwencji uzyskanie zbieżności wyników pochodzących z różnych badań, co stanowi gwarancję poprawności obliczeń.

7. LITERATURA

- [1] ZIENKIEWICZ O. C.: Metoda elementów skończonych, Arkady, Warszawa 1972.
- [2] ZIELIŃSKA A. Wyznaczenie sił i reakcji w głównych węzłach konstrukcji układacza MG-20, OBRUM/RR/2859/2010, prace własne OBRUM sp. z o.o. – niepublikowane.
- [3] ZIELIŃSKA A., Analiza wytrzymałości konstrukcji ramienia chwytneho układacza MG-20, OBRUM/RR/3553/2010, prace własne OBRUM sp. z o.o. – niepublikowane.
- [4] ZIELIŃSKA A., Analiza wytrzymałości konstrukcji ramienia chwytneho układacza MG-20, OBRUM/RR/2543/2011, prace własne OBRUM sp. z o.o. – niepublikowane.

COMPARISON RESULTS OF STRENGTH ANALYSIS WITH STAND TESTING

Abstract: In the elaborate described a process of verification of strain analysis results made for a layer construction element with results of strength tests made on real object. There were making analysis of results divergence and presented a cause of existence.

Key Words: bridge layer, catch arm, strength analysis FEM, strength of the construction